

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra dopravního stavitelství

Interakce okružní křižovatky a světelně řízeného přechodu pro chodce

Roundabout and Signalized Crosswalk interaction

Student:

Bc. Jakub Hvězda

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Škvain

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra dopravního stavitelství

## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Jakub Hvězda</b>
Studijní program:	N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor:	3607T036 Dopravní stavby
Specializace:	02 Dopravní inženýrství
Téma:	Interakce okružní křižovatky a světelně řízeného přechodu pro chodce Roundabout and Signalized Crosswalk interaction
Jazyk vypracování:	čeština

### Zásady pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude zkoumání míry ovlivnění provozu v okružní křižovatce poptávkovým přechodem pro chodce, realizovaným v blízkosti okružní křižovatky. V rámci práce bude provedena analýza dostupných podkladů, týkajících se provozu okružních křižovatek a přechodů pro chodce a budou sledovány dvě okružní křižovatky v Ostravě - Porubě na ul. 17. listopadu, v jejichž blízkosti se předmětné typy přechodů pro chodce nacházejí (bude provedeno sčítání dopravy, počtu chodců na přechodech, délky signálů volno na přechodech pro chodce atp.). Následně bude provedena simulace dopravního provozu v mikrosimulačním programu a bude prověřována optimální vzdálenost mezi křižovatkou a přechodem pro chodce a zejména podmínky, za kterých nebude docházet k ovlivňování provozu v okružní křižovatce (zejména poměr dopravního zatížení a počtu chodců na přechodu). Výstupem diplomové práce bude stanovení podmínek, za kterých je možno instalovat poptávkové přechody pro chodce v blízkosti okružních křižovatek, případně úrovněvých neřízených křižovatek obecně.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích
2. ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
3. ČSN 01 3466 Výkresy pozemních komunikací
4. TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích
5. Inovace studijního programu stavební inženýrství, Dopravní stavby - <http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/studijni-obory/studium-bakalarske/dopravni-stavby/>
6. Vzdělávací modul - FAST 11 - Dopravní inženýrství - <http://projekt150.ha-vel.cz/node/29>
7. TP 188 Posuzování kapacity neřízených úrovněvých křižovatek
8. TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. vydání)
9. TP 225 Prognóza intenzit automobilové dopravy (2. vydání)
10. TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek
11. TP 81 – Zásady pro navrhování světelných signalizačních zařízení na pozemních komunikacích

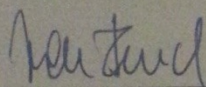


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

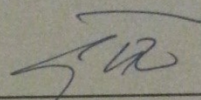
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Škvain**

Datum zadání: 28.02.2017

Datum odevzdání: 01.12.2017



Ing. Ivan Fencel, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty



### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....  
1.12.2017

.....  
podpis studenta



Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....1.12.2017.....

.....Hrad.....

Podpis studenta

### **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Václavu Škvainovi za jeho užitečné rady, trpělivost a příkladné vedení při tvorbě mé diplomové práce.

## **Anotace**

Bc. HVĚZDA, Jakub. *Interakce okružní křižovatky a světelně řízeného přechodu pro chodce*. VŠB - TU Ostrava, Fakulta stavební, 2017, 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Václav Škvain

Předmětem diplomové práce „Interakce okružní křižovatky a světelně řízeného přechodu pro chodce“ je zkoumání míry ovlivnění provozu v okružní křižovatce poptávkovým přechodem pro chodce, realizovaným v blízkosti okružní křižovatky. Prověřována byla zejména vzdálenost mezi křižovatkou a přechodem pro chodce a zejména podmínky, za kterých nedochází k ovlivnění provozu v okružní křižovatce. V rámci práce byl proveden průzkum reálné interakce a následně by vytvořen postup modifikovaného výpočtu odpovídajícího vzniku fronty vozidel. Následně byla provedena simulace maximální délky fronty při rozdílných zatíženích komunikací a délkách signálu stůj v programu PTV Vissim. Výsledky byly vyhodnoceny v závěrečném grafu s názvem „Stanovení maximální délky fronty“.

## **Anotation**

The subject of this diploma thesis named „Roundabout and Signalized Crosswalk interaction“ is research of the amount of values influencing the traffic behaviour in roundabout area. The primary value that was checked is distance between intersection and pedestrian crossing and especially conditions in which the traffic behaviour is not influenced in roundabout. Within the frame of this work was done research of interaction in real environment and then was created a process of modiflicated calculation that corresponds with development of vehicle queue. Afterwards was done simulation of maximal queue length with different input data for vehicle input and length of stop signal in PTV Vissim program. Results were evaluated in final diagram named „Determined maximal queue length“.

## **Klíčová slova**

Křižovatka, Ostrava, doprava, okružní křižovatka, přechod pro chodce, interakce, délka fronty, maximální délka fronty, PTV Vissim

## **Keywords**

Intersection, Ostrava, Traffic, Roundabout, Pedestrian Crosswalk, Interaction, Queue Length, Maximal Queue length, PTV Vissim

## Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení .....	1
1. Úvod.....	3
1.1 Údaje o území.....	4
1.2 Záměr práce.....	4
1.3 Údaje o řešené lokalitě .....	5
2. Nehodovost .....	6
2.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova .....	6
2.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema .....	8
3. Dopravně inženýrský průzkum .....	10
3.1 Metodika průzkumu .....	10
4. Výsledky dopravně inženýrského průzkumu.....	11
4.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova .....	11
4.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema .....	15
4.3 Vliv chodců .....	18
5. Dopravně inženýrská analýza .....	20
5.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova .....	20
5.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema .....	26
6. PTV Vissim.....	30
6.1 Modul VisVAP.....	30
7. Výpočet pevného signálního plánu .....	37
7.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova .....	37
7.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema .....	39
8. Vytvoření modelů v PTV Vissim 8 s pevným signálním plánem .....	42
8.1 Výsledky simulací předmětných modelů .....	44
8.2 Podmínky pro vytvoření pevného signálního plánu simulace maximální délky fronty.....	45
8.3 Výpočet pevného signálního plánu pro měření maximální délky fronty .....	47
9. Výstupy měření maximální délky fronty .....	59
9.1 Výsledky měření maximální délky fronty.....	60
10. Závěr .....	65
11. Seznam použité literatury .....	66
12. Seznam příloh .....	68



## Seznam použitého značení

### Použité zkratky

CNG	Compressed Natural Gas – stlačený zemní plyn
GPS	Global Positioning System – globální polohový systém
MHD	městská hromadná doprava
OK	okružní křižovatka
SSZ	světelné signalizační zařízení
TP	technické podmínky

### Seznam veličin

$c_v$	je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]
$c_{v/h}$	je průměrná délka doby trvání všech signálů stůj pro vozidla dohromady za 1 hodinu [s]
$H$	hustota dopravního proudu [pvoz/m]
$I$	je naměřená intenzita provozu [pvoz/s]
$L_{F1}$	je průměrná délka fronty na začátku zeleného signálu pro vozidla [m]
$l_{min}$	minimální uvažovaná šířka jízdního pruhu místní komunikace [m]
$l_v$	návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]
$n_p$	počet řadících pruhů, které tvoří společně jeden vjezd [-]
$P_{c/h}$	je průměrný počet cyklů za 1 hodinu [-]
$t_c$	délka cyklu [s]
$t_{czl}$	je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]
$t_{m(zl-z_p)}$	je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu volno pro chodce [s]

$t_i (z_p - czt)$	je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu [s]
$t_{zl}$	je délka trvání žlutého signálu [s]
$v$	průměrná rychlost vozidel [m/s]
$v_p$	uvažovaná rychlost pohybu chodců [m/s]
$z'$	délka efektivní zelené [s]
$z_p$	je délka doby trvání signálu volno pro chodce [s]
$z_v$	je délka doby trvání signálu volno pro vozidla v 1 cyklu [s]
$Z_{v/h}$	je průměrná délka doby trvání všech signálů volno pro vozidla dohromady za 1 hodinu včetně červeno-žlutých a žlutých signálů [s]

# 1. Úvod

Předmětem této práce je zkoumání interakce okružních křižovatek s poptávkově řízenými přechody pro chodce. Interakcí se rozumí vzájemné ovlivňování provozu, které je negativní. Vzájemné ovlivňování zejména spočívá ve vytváření front vozidel za dobu signálu stůj, které mohou při vysokých intenzitách dopravy, zejména špičkových hodin, svou délkou negativně ovlivňovat provoz v křižovatce předcházející směru dopravního proudu. Z hlediska provozu v křižovatce pak následně dochází ke zpomalení, či zastavení vozidel v oblasti křižovatky, což snižuje kapacitu dané křižovatky.

V rámci práce byl kladen důraz na sledování vzniku maximální délky fronty, jelikož právě ta je vždy příčinou interakce s křižovatkou, z čehož plyne následné negativní ovlivnění kapacity postihnuté křižovatky.

Praktické zkoumání závislostí ovlivňování v reálném provozu bylo prováděno na dvou okružních křižovatkách v Ostravě – Porubě na ul. 17. listopadu a příslušných přechodech pro chodce, které sloužily k získání vstupních informací a zároveň pro srovnání s výstupy z provedených mikrosimulací, které byly provedeny z důvodu stanovení podmínek, za kterých nebude docházet k ovlivnění provozu v křižovatkách.

Použitá metodika postupu výpočtů a vyhodnocování může být použita pro stanovení průměrné délky fronty vozidel a maximální délky fronty vozidel. Výstupy jsou závislé zejména na intenzitách dopravy a délce doby trvání signálů stůj pro jízdní pruhy. Tuto metodiku lze tedy použít při posuzování délky front v případech, kdy je stanovena pevná délka doby po kterou musí vozidla stát, např. v případě železničních přejezdů.



## 1.1 Údaje o území

Ostrava je statutárním městem na severovýchodě České republiky v Moravskoslezském kraji, poblíž hranice s Polskem. Nachází se na soutoku řek Odry, Opava, Ostravice a Lučina. Ostrava je počtem obyvatel i rozlohou třetí největší město v Česku, druhé největší město na Moravě a největší město v Českém Slezsku. Žije zde 289 158 obyvatel [1], v celé ostravské aglomeraci už ale žije téměř 1 milion obyvatel, která je tak po pražské druhou největší aglomerací v České republice.



Obr. 1 Mapa širších vztahů [2]

## 1.2 Záměr práce

Jedná se o studii interakce okružní křižovatky a světelně řízeného přechodu pro chodce, která má zkoumat optimální vzdálenost mezi křižovatkou a přechodem pro chodce a zejména podmínky, za kterých bude docházet k ovlivňování provozu v křižovatce. Výstupem studie by mělo být stanovení podmínek, za kterých je možno instalovat poptávkové přechody pro chodce v blízkosti okružních křižovatek, případně úrovnňových neřízených křižovatek obecně.

### **1.3 Údaje o řešené lokalitě**

Studie je provedena v Moravskoslezském kraji (č. 132) statutárního města Ostrava (č. 8119) v městské části Ostrava Poruba na katastrálním území Poruba – sever (č. 715221) a Pustkovec (č. 715301).

Předmětné okružní křižovatky, u kterých byla zkoumána míra ovlivnění provozu poptávkovým přechodem pro chodce, se nachází na ulici 17. listopadu. Ta je klasifikována jako sběrná komunikace funkční skupiny B, která slouží jako průtah silnice II/469. Tento úsek začíná křižovatkou ulice Opavská a ulice 17. listopadu a pokračuje směrem na sever k městu Hlučín.

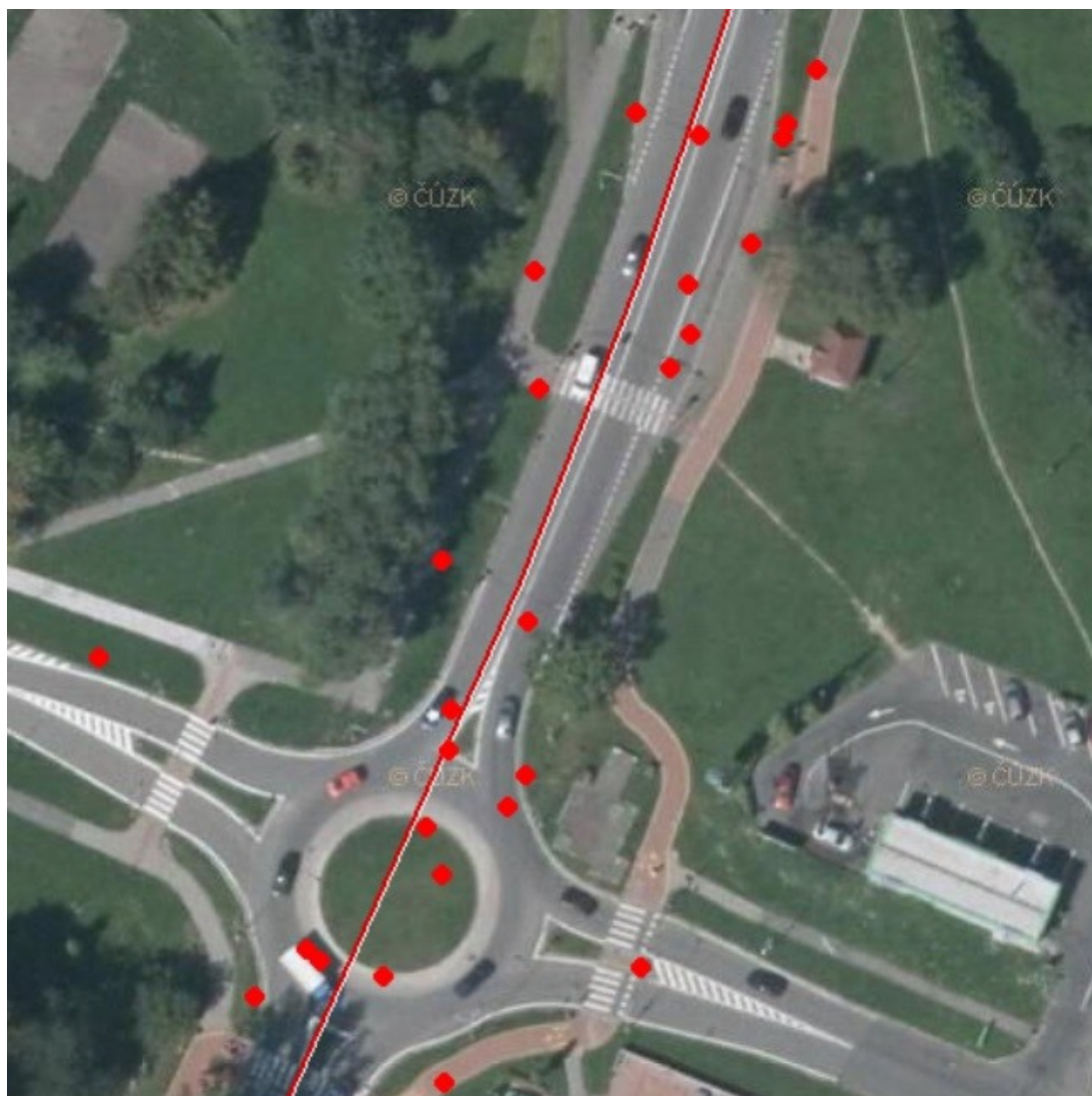
Předmětná komunikace ulice 17. listopadu je v současnosti dvoupruhová s vystavěnými chodníky po stranách, jež jsou od silnice odděleny zelenými pruhy. Zelené pruhy jsou vysázeny stromy, které jsou uspořádány často v linii.

Je velmi pravděpodobné, že v budoucnu dojde ke změnám stávajícího uspořádání dopravy v mnou řešeném úseku ulice 17. listopadu a to z důvodu vybudování nové tramvajové trati. Ta by měla být realizována do roku 2021 a mělo by se jednat o moderní a komfortní trať, která propojí budoucí účastníky provozu MHD této části Ostravy s centrem a ostatními částmi města. Tramvajová trať byla doporučena k realizaci na základě komplexního zhodnocení všech dostupných údajů o stavbě jednotlivých složek životního prostředí v červnu roku 2006.

## 2. Nehodovost

Informace týkající se nehodovosti byly zjišťovány pomocí internetového serveru [www.jdvm.cz](http://www.jdvm.cz), kde se nachází statistické vyhodnocení dopravních nehod nahlášených policií České republiky. Místa nehod jsou zaznamenány v mapě s GPS souřadnicemi jednotlivých míst.

### 2.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova



**Obr. 2 Poloha dopravních nehod v místě křižovatky 17. listopadu x Slavíkova [4]**

Z jednotné dopravní vektorové mapy bylo vybráno celkově 11 nehod, jejichž příčina byla pravděpodobně ovlivněna přechodem pro chodce řízeným SSZ, který je situován ve vzdálenosti 40 m od výjezdu z OK.



**Tab. 1 Příčiny nehod 17. Listopadu x Slavíkova**

Hlavní příčina nehody	Počet nehod	Usmrcené osoby	Těžce zraněné osoby	Lehce zraněné osoby
Nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem	7	0	0	5
Chodci na vyznačeném přechodu	1	0	0	1
Nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky	1	0	0	1
Řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	1	0	0	0
Vyhýbání bez dostatečné vůle	1	0	0	0

Z 11 nehod byly 4 nehody s následkem na zdraví a při dalších 7 nehodách bylo lehce zraněno 8 osob. Obsah alkoholu v krvi byl zjištěn pouze u 1 nehody a u zbylých 10 nebyl zjišťován. V 7 případech bylo jako hlavní příčina stanoveno nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem, což je pravděpodobně vyvoláno tvorbou kolon u předmětného přechodu pro chodce. V jednom případě došlo také ke srážce vozidla s osobou, která přecházela přechod pro chodce. Další hlavní příčinou nehody bylo stanoveno, že se řidič plně nevěnoval řízení vozidla. V tomto případě došlo také k nárazu do vozidla zezadu, což mohlo být vyvoláno také v době vytvoření fronty vozidel. Nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky mohlo být taky do jisté míry zapříčiněno stojící frontou vozidel. Poslední hlavní příčina vyhýbání se bez dostatečné vůle byla zaznamenána v oblasti křižovatky, kde došlo ke srážce 2 vozidel. Je možné, že v tomto případě délka fronty zasahovala až do oblasti křižovatky a vozidlo projíždějící křižovatkou přes okružní pás nedotočilo směrový oblouk a narazilo do posledního vozidla stojícího ve frontě.

## 2.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema



**Obr. 3** Poloha dopravních nehod v místě křižovatky 17. listopadu x Bedřicha Nikodema [4]

Z jednotné dopravní vektorové mapy bylo vybráno celkově 8 nehod, jejichž příčina byla pravděpodobně ovlivněna přechodem pro chodce řízeným SSZ, který je situován ve vzdálenosti 80 m od výjezdu z OK.

**Tab. 2** Příčiny nehod 17. Listopadu x Bedřicha Nikodema

Hlavní příčina nehody	Počet nehod	Usmrcené osoby	Těžce zraněné osoby	Lehce zraněné osoby
Nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem	6	0	0	3
Chodci na vyznačeném přechodu	1	0	0	1
Řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	1	0	1	0

Z 8 nehod bylo 5 s následkem na zdraví a celkem zraněno 5 osob. Z 5 osob byly 4 osoby zraněny lehce a 1 těžce. Obsah alkoholu v krvi byl zjištěn pouze u 1 nehody a u zbylých 7 nebyl zjišťován. V 6 případech bylo jako hlavní příčina nehody stanoveno nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem, což je pravděpodobně vyvoláno tvorbou kolon u předmětného přechodu pro chodce. V jednom případě došlo ke srážce vozidla s osobou, která přecházela po vyznačeném přechodu pro chodce. Poslední hlavní příčinou bylo stanoveno, že se řidič plně nevěnoval řízení vozidla. V tomto případě došlo také k nárazu do vozidla zezadu, což mohlo být vyvoláno také v době vytvoření fronty vozidel.



### **3. Dopravně inženýrský průzkum**

Pro zjištění aktuálních dopravních intenzit vozidel i chodců a složení silniční dopravy v místech obou předmětných křižovatek a přechodů pro chodce byl proveden vlastní dopravní průzkum.

#### **3.1 Metodika průzkumu**

Dopravně inženýrský průzkum na předmětných křižovatkách a přechodech pro chodce byl proveden ve dnech 13. 6. 2017 (úterý) a 14. 6. 2017 (středa). Jednalo se tedy o běžné pracovní dny. Denní teplota dne 13. 6. 2017 (út) se pohybovala v rozmezí 21 – 25 °C a během doby průzkumu bylo jasno. Rychlost větru byla nízká od 2 m/s do 6 m/s a měl severovýchodní směr. Denní teplota dne 14. 6. 2017 (st) se pohybovala v rozmezí 20 – 25 °C a během doby průzkumu bylo jasno. Rychlost větru byla nízká od 2 m/s do 6 m/s a měl severozápadní směr. Vozovka byla po celou dobu průzkumu suchá. Průzkum byl proveden formou natočení videozáznamu na digitální kameru a zároveň byla data o projíždějících vozidlech a průchozích chodcích zaznamenávána do předem připraveného formuláře. Průzkum byl rozdělen na dvě části a byl proveden v časech doporučených dle TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (II. vydání) [5].

Část první byla naměřena v odpoledních hodinách během odpolední dopravní špičky dne 13. 6. 2017 (úterý) od 14:00 do 16:00 hodin. Část druhá byla také naměřena v odpoledních hodinách během odpolední dopravní špičky, pouze o den později, tedy 14. 6. 2017 (středa). Tyto běžné pracovní dny a hodiny jsem si vytipoval na základě údajů publikace Informace o dopravě v Ostravě 2016 (dostupné z [www.ostrava.cz](http://www.ostrava.cz)) vydané dne 15. 5. 2017. Dle informací v této publikaci, získaných měření průběhů intenzit ve vybraných křižovatkách, je právě procentuální podíl na denní intenzitě nejvyšší mezi 14:00 a 16:00 hodinou pro běžný pracovní den a rozdíl procentuálních podílů je nejmenší právě mezi dny úterý a středa. Tyto informace byly aplikovány při vlastním dopravním průzkumu z důvodu následné vyšší možnosti srovnání obou předmětných průzkumů.

## 4. Výsledky dopravně inženýrského průzkumu

### 4.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova

V křižovatce byl průzkum proveden dne 13.6.2017 (úterý) v době od 14 - 16 h. Sčítací stanoviště se nacházelo v blízkosti křižovatky ve vzdálenosti 50 m od předmětného přechodu pro chodce tak, aby pokrývalo výjezdní rameno okružní křižovatky na ul. 17. Listopadu ve směru přechodu pro chodce a samotný přechod pro chodce.

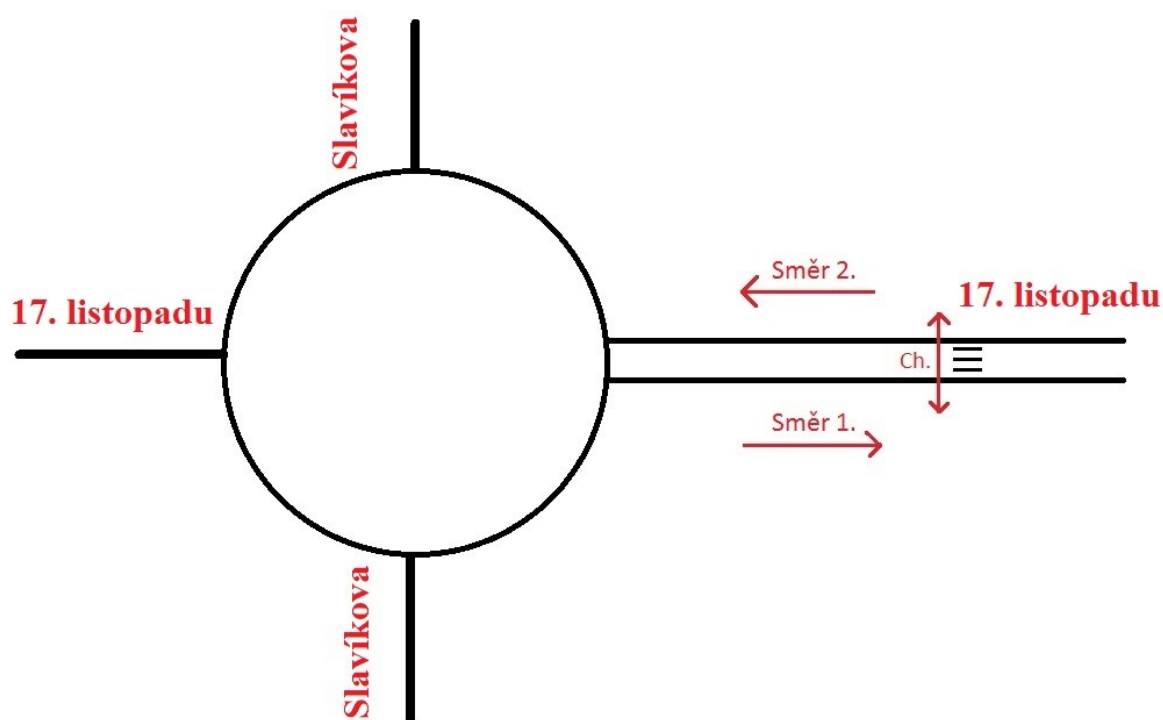


**Obr. 4 Stanoviště křižovatky 17. listopadu x Slavíkova**

Na SSZ poptávkového přechodu pro chodce byly naměřeny následující časy:

- |                                                                                             |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| - délka signálu volno pro chodce:                                                           | 9 s  |
| - délka mezičasu mezi koncem signálu volno pro chodce po začátek signálu volno pro vozidla: | 12 s |
| - délka mezičasu mezi koncem signálu volno pro vozidla a začátkem signálu volno pro chodce: | 5 s  |
| - délka červenožlutého signálu:                                                             | 2 s  |
| - délka žlutého signálu:                                                                    | 3 s  |
| - délka doby trvání signálu stůj pro vozidla:                                               | 21 s |

Schéma uspořádání dopravní situace je zobrazeno na obr. 5.



**Obr. 5 Schéma uspořádání dopravní situace**

Délka přechodu pro chodce je 12,5 m, šířka přechodu pro chodce je 4 m, vzdálenost mezi přechodem pro chodce a předmětnou křižovatkou je 40 m.

Z provedeného dopravního průzkumu vyplynulo, že během špičkové hodiny, která byla stanovena v rozmezí 14:30 – 15:30 sledovaným úsekem projelo 1391 vozidel v obou směrech a prošlo celkem 236 chodců. Podrobnější údaje jsou uvedeny v tabulce 3.

**Tab. 3 Špičková hodinová intenzita [voz/h]**

	Jízdní kola [voz/h]	Motocykly [voz/h]	Osobní vozidla [voz/h]	Nákladní vozidla, autobusy [voz/h]	Nákl. soupravy, kloubové autobusy [voz/h]	Dohromady [voz/h]	Chodci [ch/h]
Směr 1.	0	3	767	20	11	801	236
Směr 2.	0	1	563	18	8	590	
Součet	0	4	1330	38	19	1391	



Pro potřeby srovnání byl proveden přepoččet vozidel na tzv. přepočtená vozidla dle zásad TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek [3] z důvodu velikosti koeficientu pro autobusy (2) a kloubové autobusy (3), jelikož byly přítomny na trase nejčastěji autobusy Soalris Urbino 12 CNG a Solaris Urbino 18 CNG s délkou 12 m a 18 m. Přepočtené údaje jsou uvedeny v následující tabulce 4.

**Tab. 4 Špičková hodinová intenzita [pvoz/h]**

	Jízdní kola [voz/h]	Motocykly [voz/h]	Osobní vozidla [voz/h]	Nákladní vozidla, autobusy [voz/h]	Nákl. soupravy, kloubové autobusy [voz/h]	Dohromady [voz/h]	Chodci [ch/h]
Směr 1.	0	3	767	40	33	843	236
Směr 2.	0	1	563	36	24	624	
Součet	0	4	1330	76	57	1467	

Součástí dopravního průzkumu z videozáznamu byla také analýza tvorby front vozidel, ve které byly sledovány délky jednotlivých front a doby jejich vyklizení.

Výsledky dopravního průzkumu délky front:

- Minimální délka fronty: 12 m
- Průměrná délka fronty: 49 m
- Maximální délka fronty: 72 m

Výsledky dopravního průzkumu dob vyklizení vozidel jsou uvedeny v následující tabulce 5.

**Tab. 5 Ukázky dob vyklizení vozidel**

Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova					
Vozidlo	Délka doby vyklizení fronty [s]				
	Případ 1	Případ 2	Případ 3	Případ 4	Případ 5
1	3	3	3	4	2
2	4	6	5	6	3
3	5	7	6	7	5
4	6	9	7	8	6
5	7	10	8	9	7
6	9	12	9	10	8
7	10	13	10	11	9
8	11	15	11	13	11
9			13	14	13
10			15		15
11			17		17
12					
Průměrně na 1 pvoz [s]	1,4	1,9	1,5	1,6	1,5
Celkem průměr na 1 pvoz [s]	1,6				

Pozn.: Délka doby vyklizení fronty je měřena od začátku červenožlutého signálu.

## 4.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema

V křižovatce byl průzkum proveden dne 14.6.2017 (úterý) v době od 14 - 16 h. Sčítací stanoviště se nacházelo v blízkosti předmětného přechodu pro chodce tak, aby pokrývalo výjezdní rameno okružní křižovatky na ul. 17. Listopadu ve směru přechodu pro chodce a samotný přechod pro chodce.

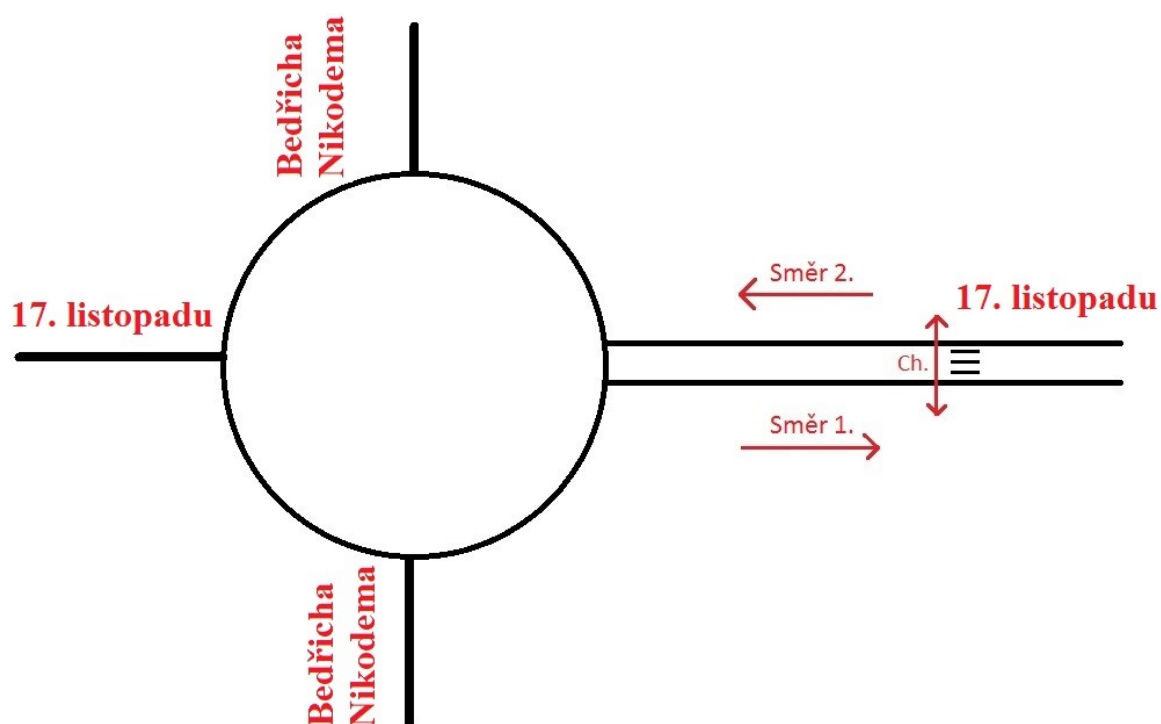


**Obr. 5 Stanoviště křižovatky 17. listopadu x Bedřicha Nikodema**

Na SSZ poptávkového přechodu pro chodce byly naměřeny následující časy:

- |                                                                                             |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| - délka signálu volno pro chodce:                                                           | 7 s  |
| - délka mezičasu mezi koncem signálu volno pro chodce po začátek signálu volno pro vozidla: | 10 s |
| - délka mezičasu mezi koncem signálu volno pro vozidla a začátkem signálu volno pro chodce: | 5 s  |
| - délka červenožlutého signálu:                                                             | 2 s  |
| - délka žlutého signálu:                                                                    | 3 s  |
| - délka doby trvání signálu stůj pro vozidla:                                               | 17 s |

Schéma uspořádání dopravní situace je zobrazeno na obr. 5.



**Obr. 5 Schéma uspořádání dopravní situace**

Délka přechodu pro chodce je 10 m, šířka přechodu pro chodce je 6 m.

Z provedeného dopravního průzkumu vyplynulo, že během špičkové hodiny, která byla stanovena v rozmezí 14:30 – 15:30 sledovaným úsekem projelo 1066 vozidel v obou směrech a prošlo celkem 608 chodců. Podrobnější údaje jsou uvedeny v tabulce 6.

**Tab. 6 Špičková hodinová intenzita [voz/h]**

	Jízdni kola [voz/h]	Motocykly [voz/h]	Osobní vozidla [voz/h]	Nákladní vozidla, autobusy [voz/h]	Nákl. soupravy, kloubové autobusy [voz/h]	Dohromady [voz/h]	Chodci [ch/h]
Směr 1.	8	1	540	38	24	611	608
Směr 2.	8	9	392	28	18	455	
Součet	16	10	932	66	42	1066	



Pro potřeby srovnání byl proveden přepočet vozidel na tzv. přepočtená vozidla dle zásad TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek [3] z důvodu velikosti koeficientu pro autobusy (2) a kloubové autobusy (3), jelikož byly přítomny na trase nejčastěji autobusy Soalris Urbino 12 CNG a Solaris Urbino 18 CNG s délkou 12 m a 18 m. Přepočtené údaje jsou uvedeny v následující tabulce 7.

**Tab. 7 Špičková hodinová intenzita [pvoz/h]**

	Jízdní kola [voz/h]	Motocykly [voz/h]	Osobní vozidla [voz/h]	Nákladní vozidla, autobusy [voz/h]	Nákl. soupravy, kloubové autobusy [voz/h]	Dohromady [voz/h]	Chodci [ch/h]
Směr 1.	4	1	540	76	72	693	608
Směr 2.	4	8	392	56	54	514	
Součet	8	9	932	132	126	1207	

Součástí dopravního průzkumu z videozáznamu byla také analýza tvorby front vozidel, ve které byly sledovány délky jednotlivých front a doby jejich vyklizení.

Výsledky dopravního průzkumu délky front:

- Minimální délka fronty: 0 m
- Průměrná délka fronty: 25 m
- Maximální délka fronty: 60 m

Pozn.: Při dopravním průzkumu nedošlo k tvorbě délky fronty, která by ovlivnila samotný provoz na okružním pásu OK, nicméně řidiči využívající tuto trasu pravidelně zaznamenávají případy, kdy se vytvoří fronta dlouhá tak, že zasahuje až na okružní pás OK a ovlivňuje tím provoz v OK.

Výsledky dopravního průzkumu dob vyklizení vozidel jsou uvedeny v následující tabulce 8.

**Tab. 8 Ukázky dob vyklizení vozidel**

Křižovatka 17. listopadu					
Vozidlo	Délka doby vyklizení fronty [s]				
	Případ 1	Případ 2	Případ 3	Případ 4	Případ 5
1	4	3	3	3	3
2	6	5	5	7	5
3	8	7	6	8	6
4	9	8	8	9	7
5	10	9	9	10	
6	14	11			
7		13			
8		15			
9		17			
10		19			
11					
12					
Průměrně na 1 pvoz [s]	2,3	1,9	1,8	2,0	1,8
Celkem průměr na 1 pvoz [s]	2,0				

Pozn.: Délka doby vyklizení fronty je měřena od začátku červenožlutého signálu.

### 4.3 Vliv chodců

Z výsledků dopravně inženýrského průzkumu je patrné, že počet chodců nemá v řešených případech interakce vliv na délku fronty. V případě křižovatky 17. listopadu x Slavíkova byla naměřena průměrná délka fronty 49 m a maximální délka fronty 72 m při intenzitě chodců přecházejících přechod pro chodce 236 ch/h. V případě křižovatky 17. listopadu x Bedřicha Nikodema byla naměřena průměrná délka fronty 25 m a maximální délka fronty 60 m při intenzitě chodců 608ch/h. Tedy v případě druhé křižovatky přešlo přechod pro chodce více

než 2 krát více chodců, ale délky front jsou menší a v případě průměrné délky fronty 2 krát tak menší.

Intenzity chodců mají dle výsledků dopravně inženýrského průzkumu vliv na frekvenci opakování cyklu (tedy délku jeho trvání). Intenzita 236 ch/h vyvolala opakování cyklu celkově 46 krát za hodinu, zatímco intenzita 608 ch/h vyvolala opakování cyklu 89 krát za hodinu. Vyšší počet opakování cyklů sice nestačil k vytvoření delší průměrné, či maximální délky fronty, ale snížil tak teoretickou kapacitu komunikace více, než tomu bylo v prvním případě.

Příklad:

46 opakování cyklů = 46 zastavení provozu na jízdním pruhu. Provoz vozidel je zastaven po určitou dobu trvání signálu stůj. V případě křižovatky 17. listopadu x Slavíkova je doba trvání signálu stůj pro vozidla 21 s.

$$46 \times 21 = 966 \text{ s} = 16,1 \text{ min}$$

$$16,1/60 = 0,268 \cong 27\%$$

Teoretická kapacita jízdních pruhů řízených daným SSZ je tedy teoreticky o 27% snížena.

89 opakování cyklů = 89 zastavení provozu na jízdním pruhu. Provoz vozidel je zastaven po určitou dobu trvání signálu stůj. V případě křižovatky 17. listopadu x Slavíkova je doba trvání signálu stůj pro vozidla 17 s.

$$89 \times 17 = 1513 \text{ s} = 25,2 \text{ min}$$

$$25,2/60 = 0,42 = 48\%$$

Teoretická kapacita jízdních pruhů řízených daným SSZ je tedy teoreticky o 48% snížena.

Tento princip by měl vliv na tvoření délky fronty v případě, že by vozidla nestihla vyklidit frontu za dobu trvání signálu volno pro vozidla, jelikož by následně mohlo dojít ke vzniku řetězové reakce a délka fronty se dále prodlužovat. Tento princip bude dále zohledněn při hodnocení simulací.

## 5. Dopravně inženýrská analýza

Provedená analýza má ověřit možnost využití postupů a výpočtů z dopravně inženýrských TP 235 [6], jejichž výstupy (zejména délka fronty vozidel) budou sloužit ke srovnání s reálně naměřenými hodnotami, které byly zjištěny při dopravním průzkumu.

### 5.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova

Při provádění dopravně inženýrské analýzy této křižovatky bylo také provedeno dle TP 234 [8] posouzení kapacity předmětného výjezdu, jehož výpočet je uveden v příloze č. 1. Záměr tohoto posouzení je zhodnotit, zdali by bylo kapacitně vyhovující přenášení naměřených kapacit chodců v oblasti výjezdu z OK. Výsledky kapacitního posouzení prokazují, že bez přítomnosti chodců výjezd vyhovuje, ale při jejich zohlednění nevyhovuje. Vedení proudu chodců v daných intenzitách přes výjezd z OK není tedy možné.

#### **Zkoumání zohledňování skladby dopravního proudu:**

Za sebou ve frontě maximálně možných 7 osobních (přepočtených) vozidel. Pokud jsou vzdálenosti mezi vozidly větší než obvyklé (do 1 m), dochází k ovlivnění provozu v křižovatce. Totéž platí, pokud je ve frontě třeba motocykl nebo přívěsný vozík.

Maximální možná délka fronty, při které nedochází k ovlivnění provozu v křižovatce, je 40 m, tedy přibližně 7 jednotkových (přepočtených) vozidel.

Případy, ve kterých ještě nedocházelo k ovlivnění provozu na předmětné křižovatce [*vov*]:

- 7 osobních vozidel
- 5 osobních vozidel + 1 nákladní vozidlo
- 5 osobní vozidla + 1 autobus (12 m)
- 4 osobní vozidla + 1 kloubový autobus (18 m)

Případy, ve kterých ještě nedocházelo k ovlivnění provozu na předmětné křižovatce [*pvoz*]:

- 7 osobních vozidel = 7 pvoz
- 5 osobních vozidel + 1 nákladní vozidlo = 7 pvoz
- 5 osobní vozidla + 1 autobus = 7 pvoz
- 4 osobní vozidla + 1 kloubový autobus = 7 pvoz

## Výpočet délky fronty

Délka fronty v řadícím pruhu na vjezdu do světelně řízené křižovatky se vypočte dle vztahu:

$$L_{F1} = 6,0 \times \frac{(t_c - z') \times l_v}{n_p \times 3600}$$

Kde  $L_{F1}$  je průměrná délka fronty na začátku zeleného signálu pro vozidla [m]

$t_c$  délka cyklu [s] (výpočet uveden v části Výpočet pevného signálního plánu)

$z'$  délka efektivní zelené [s]

$l_v$  návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]

$n_p$  počet řadících pruhů, které tvoří společně jeden vjezd [-]

Délka efektivní zelené ( $z'$ ) se určí ze skutečné délky zeleného signálu ( $z$ ) dle tabulky 9. Výpočet délky zeleného signálu (signálu volno pro vozidla) je uveden v části Výpočet pevného signálního plánu.

**Tab. 9 Délka efektivní zelené [6]**

Délka zeleného signálu $z$ [s]	Délka efektivní zelené $z'$ [s]
5 - 7	$z + 1,0$
8 - 10	$z + 0,5$
$\geq 11$	$z$

Po dosazení naměřených hodnot:

$$L_{F1} = 6,0 \times \frac{(78 - 52) \times 843}{1 \times 3600} = \mathbf{36,5\ m}$$

Výsledek výpočtu pro průměrnou délku fronty na začátku zeleného signálu (volno) reprezentuje pouze průměrnou délku fronty, která se vytvoří za dobu mezičasu mezi koncem signálu volno pro vozidla a začátkem signálu volno pro chodce, dobu trvání samotného signálu volno pro chodce a za dobu mezičasu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem signálu volno pro vozidla. Průměrná vypočtená délka fronty na začátku signálu volno pro vozidla je tedy 36,5 m, ale průměrná naměřená délka fronty je 49 m. Tento rozdíl je způsobem právě tím, že do výpočtu nebyla zahrnuta doba potřebná pro vyklizení fronty, po



kteřou ještě vozidla v reálném provozu přijíždí na její konec a reálně tedy prodlužují samotnou délku fronty. Tuto skutečnost se budu snažit zahrnout v následujícím modifikovaném výpočtu:

### **Modifikovaný výpočet**

V rámci modifikace výpočtového postupu dle TP 235 bude zohledněna průměrná délka fronty, která se vytvořila za dobu trvání signálu stůj pro vozidla a délka fronty, která vznikla na konci této fronty, během doby vyklizování výše uvedené průměrné délky fronty vzniklé po dobu signálu stůj.

Naměřená intenzita ve směru 1. (OK – přechod) je 843 pvoz/h:

$$843 \text{ pvoz/h} = 14,05 \text{ pvoz/min} = 0,234 \text{ pvoz/s}$$

Délka doby čekání vozidel od konce žlutého signálu po červenožlutý signál – tedy délka signálu stůj pro vozidla je 21 sekund:

$$\text{Za 21 sec: } 21 \times 0,234 = 4,914 \text{ pvoz/21s}$$

Dle TP 235 je délka jednotkového vozidla včetně mezery ve frontě 6 m:

$$4,914 \times 6 = \mathbf{29,5 \text{ m}} - \text{průměrná délka fronty}$$

Signál volno mají chodci průměrně 46 krát za hodinu, přičemž k ovlivnění provozu v křižovatce dojde průměrně 30 krát. Průměrně tedy dojde k ovlivnění provozu v křižovatce v 65% situacích.

Naměřený počet vozidel ve frontách je 376 pvoz/h, opakování cyklu průměrně 46 krát za hodinu:

$$376/46 = 8,17 \text{ pvoz/zastavení}$$

Průměrný vypočítaný počet vozidel v koloně je ale 8,17 pvoz/zastavení, přičemž do front byla také započítávána vozidla, která na konec fronty přijížděla a musela ještě zastavit i když ve směru byl již platný signál volno.

### **Zohlednění reakční doby (doba vyklizení vozidel ve frontě na signál volno)**

29,5 m odpovídá 4,9 pvoz, což neodpovídá reálnému stavu tvoření kolon 8,2 pvoz, tedy 49 m. To je způsobeno právě kvůli nezapočítání vozidel, které na konec fronty ještě přijíždí i

poté, co začátek fronty pokračuje v jízdě na zelený signál. Tento jev ve výpočtu dle TP 235 zahrnut není, ale dle mého názoru značně ovlivňuje samotnou tvorbu fronty vozidel a proto jej zohledňuji v modifikovaném výpočtu.

Vyklizení fronty bylo naměřeno průměrně 1,6 s na 1 pvoz (v případě křižovatky 17. listopadu x Slavíkova), ale ve 2. řešené křižovatce (17. listopadu x Bedřicha Nikodema) byly naměřeny 2 s. Pro jednotnost výpočtu s ohledem také k bezpečnému časovému rozestupu mezi vozidly dle serveru [www.ibesip.cz](http://www.ibesip.cz), který je 2 s, jsem se rozhodl použít 2 s jako konstantu pro oba výpočty.

Průměrně teoreticky dle modifikovaného výpočtu: **4,9 pvoz/zastavení = 29,5 m**

Průměrně prakticky dle měření: **8,2 pvoz/zastavení = 49 m**

Při započítání reakční doby 2 sekundy pro každé pvoz vypočteno dle modifikovaného výpočtu:

$$4,9 \times 2 = 9,8 \text{ s}$$

Při přičtení délky signálu stůj pro vozidla (21 s):

$$9,8 + 21 = 30,8 \text{ s}$$

Po vynásobení naměřenou intenzitou provozu (0,234 pvoz/s):

$$30,8 \times 0,234 = 7,2 \text{ pvoz/zastavení} - \text{tj. včetně reakční doby řidičů}$$

Průměrně vypočteno včetně reakční doby: **7,2 pvoz/zastavení = 43,2 m**

### **Zohlednění hustoty dopravního proudu v délce fronty**

Hustota dopravního proudu je dána počtem vozidel, který se v daném okamžiku nachází na určité délce trasy (komunikace).

Vliv hustoty dopravního proudu roste se zvyšující se intenzitou vozidel a se snižující se rychlostí pohybu vozidel.

Provedené výpočty zabývající se délkou fronty vypočítanou teoreticky doposud zohledňují pouze intenzity naměřené v místě stopčáry situované ve vzdálenosti 2 m od přechodu pro chodce, tedy v místě kde dochází k samotné interakci mezi vozidly a chodci. Pro přesnější teoretický výpočet je ale potřeba zohlednit, že fronta vozidel má určitou délku, o kterou

prakticky posunuje místo, ve kterém dochází k reálnému prodlužování fronty vozidel v čase délky doby signálu stůj pro vozidla a délky reakčních doby dané fronty vozidel. Jinými slovy je potřeba ještě zohlednit hustotu dopravního proudu v délce fronty, která by byla teoreticky přítomná v případě, že by k tvorbě fronty nedošlo. Tuto hustotu dop. proudu je potřeba přičíst k samotné délce fronty, abychom zohlednili také vozidla, která by byla v délce fronty teoreticky přítomna.

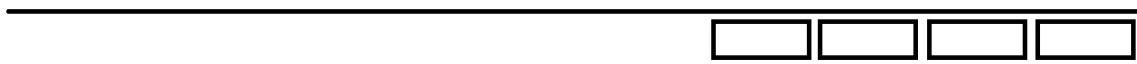
Příklad:

Na následujícím obrázku je graficky znázorněna hustota dopravního proudu. Hustota dopravního proudu je 5 pvoz/50 m, tedy 0,1 pvoz/m. Každé pvoz má v tomto příkladu délku 5 m.



**Obr. 7 Hustota dopravního proudu**

Při vytvoření fronty vozidel dlouhé 20 m nastane situace:



**Obr. 8 Průměrná délka fronty**

Při srovnání obou výše znázorněných obrázků je vidět, že jsou 2 vozidla (Obr. 8) přítomna v délce vzniklé fronty na totožné komunikaci. Pokud tedy dojde ke vzniku fronty dlouhé 20 m, tak se tyto 2 teoreticky přítomná pvoz zařadí na konec fronty a prodlouží tak samotnou délku fronty.

$$\text{Tedy: } 0,1 \times 20 = 2 \text{ pvoz} \Rightarrow 2 \times 5 = 10 \text{ m}$$

Fronta vozidel by tedy v tomto příkladu byla prodloužena o dalších 10 m.

Tento příklad je pouze ukázkový, proto došlo o prodloužení fronty o 50 %. V následujících výpočtech týkajících se reálných dopravních situací nejsou nárůsty front tak znatelné.

Vstupní údaje:

- Naměřená intenzita provozu odpovídá 843 pvoz/h = 0,234 pvoz/s
- Návrhová rychlost vozidel 50 km/h = 13,89 m/s
- Průměrná vypočtená délka fronty včetně reakční doby 43,2 m
- Průměrný vypočtený počet pvoz za zastavení včetně reakční doby je 7,2

Postup výpočtu:

Vyplývající z rovnice homogenity (kontinuity):

$$I = v \times H \Rightarrow H = \frac{I}{v}$$

Kde  $I$  je naměřená intenzita provozu [pvoz/s]

$v$  průměrná rychlost vozidel [m/s]

$H$  hustota dopravního proudu [pvoz/m]

Po dosazení:

$$H = \frac{0,234}{13,89} = 0,017 \text{ pvoz}/m$$

Po vynásobení hustoty provozu s průměrnou vypočtenou délkou fronty včetně reakční doby:

$$0,017 \times 43,2 = 0,7 \text{ pvoz}/\text{zastavení}$$

Po přičtení k průměrnému vypočtenému počtu pvoz za zastavení včetně reakční doby:

$$7,2 + 0,7 = 7,9 \text{ pvoz}/\text{zastavení}$$

Průměrně vypočteno včetně reakční doby a hustoty provozu: **7,9 pvoz/zastavení = 47,4 m**

Průměrně prakticky dle měření: **8,2 pvoz/zastavení = 49 m**

## 5.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema

Při provádění dopravně inženýrské analýzy této křižovatky bylo také provedeno dle TP 234 [3] posouzení kapacity předmětného výjezdu, jehož výpočet je uveden v příloze č. 1. Záměr tohoto posouzení je zhodnotit, zdali by bylo kapacitně vyhovující přenášení naměřených kapacit chodců v oblasti výjezdu z OK. Výsledky kapacitního posouzení prokazují, že bez přítomnosti chodců výjezd vyhovuje, ale při jejich zohlednění nevyhovuje. Vedení proudu chodců v daných intenzitách přes výjezd z OK není tedy možné.

Za dobu dopravního průzkumu nedošlo k tvorbě délky fronty, která by ovlivnila samotný provoz na okružním pásu OK, nicméně řidiči využívající tuto trasu pravidelně zaznamenávají případy, kdy se vytvoří fronta dlouhá tak, že zasahuje až na okružní pás OK.

Maximální možná délka fronty, při které nedochází k ovlivnění provozu v předmětné křižovatce, je 80 m, tedy přibližně 13 jednotkových (přepočtených) vozidel.

### Výpočet délky fronty

Délka fronty v řadicím pruhu na vjezdu do světelně řízené křižovatky se vypočte dle vztahu:

$$L_{F1} = 6,0 \times \frac{(t_c - z') \times l_v}{n_p \times 3600} \quad [6]$$

Kde  $L_{F1}$  je průměrná délka fronty na začátku zeleného signálu pro vozidla [m]

$t_c$  délka cyklu [s] (výpočet uveden v části Výpočet pevného signálního plánu)

$z'$  délka efektivní zelené [s]

$l_v$  návrhová intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h]

$n_p$  počet řadicích pruhů, které tvoří společně jeden vjezd [-]

Délka efektivní zelené ( $z'$ ) se určí ze skutečné délky zeleného signálu ( $z$ ) dle tabulky 9. Výpočet délky zeleného signálu (signálu volno pro vozidla) je uveden v části Výpočet pevného signálního plánu.



**Tab. 9 Délka efektivní zelené [6]**

Délka zeleného signálu $z$ [s]	Délka efektivní zelené $z'$ [s]
5 - 7	$z + 1,0$
8 - 10	$z + 0,5$
$\geq 11$	$z$

Po dosazení naměřených hodnot:

$$L_{F1} = 6,0 \times \frac{(40 - 18) \times 693}{1 \times 3600} = \mathbf{25,4\ m}$$

Výsledek výpočtu pro průměrnou délku fronty na začátku zeleného signálu (volno) reprezentuje pouze průměrnou délku fronty, která se vytvoří za dobu mezičasu mezi koncem signálu volno pro vozidla a začátkem signálu volno pro chodce, dobu trvání samotného signálu volno pro chodce a za dobu mezičasu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem signálu volno pro vozidla. Průměrná vypočtená délka fronty na začátku signálu volno pro vozidla je tedy 25,4 m, což je hodnota srovnatelná s průměrnou naměřenou délkou fronty 25 m, nicméně jedná se pouze o náhodnou shodu, která byla zapříčiněna nižší intenzitou a tedy nižším průměrným počtem vozidel ve frontě. K přesnějšímu postupu výpočtu tedy využívám opět modifikovaný výpočet, který se osvědčil v předešlém případě tvorby délky fronty u křižovatky 17. listopadu x Slavíkova:

### **Modifikovaný výpočet**

V rámci modifikace výpočtového postupu dle TP 235 bude zohledněna průměrná délka fronty, která se vytvořila za dobu trvání signálu stůj pro vozidla a délka fronty, která vznikla na konci této fronty, během doby vyklizování výše uvedené průměrné délky fronty vzniklé po dobu signálu stůj.

Naměřená intenzita ve směru 1. (OK – přechod) je 693 pvoz/h.

$$693\ pvoz/h = 11,55\ pvoz/min = 0,193\ pvoz/s$$

Délka doby čekání vozidel od konce žlutého signálu po červenožlutý signál – tedy délka signálu stůj pro vozidla je 17 sekund:

$$\text{Za 17 sec: } 17 \times 0,193 = 3,281\ pvoz/17s$$

Dle TP 235 je délka jednotkového vozidla včetně mezery ve frontě 6 m.

$$3,281 \times 6 = \mathbf{19,7\ m} - \text{průměrná délka fronty}$$

Signál volno mají chodci průměrně 89 krát za hodinu, přičemž k ovlivnění provozu v křižovatce dojde průměrně 0 krát. Nedošlo tedy v době průzkumu k ovlivnění provozu v křižovatce.

Naměřený počet vozidel ve frontách je 368 pvoz/h, opakování cyklu průměrně 89 krát za hodinu:

$$368/89 = 4,13 \text{ pvoz/zastavení}$$

Průměrný vypočítaný počet vozidel v koloně je ale 4,13 pvoz/zastavení, přičemž do front byla také započítávána vozidla, která do front přijížděla a musela ještě zastavit i když ve směru byl už platný signál „volno“.

#### **Zohlednění reakční doby (doba vyklizení vozidel ve frontě na signál volno)**

19,7 m odpovídá 3,3 pvoz, což neodpovídá reálnému stavu tvoření kolon 4,13 pvoz, tedy 25 m. To je způsobeno právě kvůli nezapočítání vozidel, které na konec fronty ještě přijíždí i poté, co začátek fronty pokračuje v jízdě na zelený signál. Tento jev ve výpočtu dle TP 235 zahrnut není, ale dle mého názoru značně ovlivňuje samotnou tvorbu fronty vozidel a proto jej zohledňuji v modifikovaném výpočtu.

Vyklizení fronty bylo naměřeno průměrně 2,0 s na 1 pvoz (v případě křižovatky 17. listopadu x Bedřicha Nikodema). Pro jednotnost výpočtu s ohledem také k bezpečnému časovému rozestupu mezi vozidly dle serveru [www.ibesip.cz](http://www.ibesip.cz), který je 2 s, jsem se rozhodl použít 2 s jako konstantu pro oba výpočty, tedy i pro modifikovaný výpočet délky fronty uvedený v předešlé části textu u předmětné křižovatky 17. listopadu x Slavíkova.

Průměrně teoreticky dle modifikovaného výpočtu: **3,3 pvoz/zastavení = 19,7 m**

Průměrně prakticky dle měření: **4,1 pvoz/zastavení = 25 m**

Při započítání reakční doby 2 sekundy pro každé pvoz vypočteno dle modifikovaného výpočtu:

$$3,3 \times 2 = 6,6 \text{ s}$$

Při přičtení délky signálu stůj pro vozidla (17 s):

$$6,6 + 17 = 23,6 \text{ s}$$

Po vynásobení naměřenou intenzitou provozu (0,193 pvoz/s):

$$23,6 \times 0,193 = 4,6 \text{ pvoz/zastavení} - \text{tj. včetně reakční doby řidičů}$$

Průměrně vypočteno včetně reakční doby: **4,6 pvoz/zastavení = 27,6 m**

### **Zohlednění hustoty dopravního proudu v délce fronty**

Vstupní údaje:

- Naměřená intenzita provozu odpovídá 693 pvoz/h = 0,193 pvoz/s
- Průměrná odhadovaná rychlost vozidel 50 km/h = 13,89 m/s
- Průměrná vypočtená délka fronty včetně reakční doby 27,6 m
- Průměrný vypočtený počet pvoz za zastavení včetně reakční doby je 4,6

Postup výpočtu:

Vyplývající z rovnice homogenity (kontinuity):

$$I = v \times H \Rightarrow H = \frac{I}{v}$$

Kde  $I$  je naměřená intenzita provozu [pvoz/s]

$v$  průměrná rychlost vozidel [m/s]

$H$  hustota dopravního proudu [pvoz/m]

Po dosazení:

$$H = \frac{0,193}{13,89} = 0,017 \text{ pvoz/m}$$

Po vynásobení hustoty provozu s průměrnou vypočtenou délkou fronty včetně reakční doby

$$0,017 \times 27,6 = 0,4 \text{ pvoz/zastavení}$$

Po přičtení k průměrnému vypočtenému počtu pvoz za zastavení včetně reakční doby

$$4,6 + 0,4 = 5,0 \text{ pvoz/zastavení}$$

Průměrně vypočteno včetně reakční doby a hustoty provozu: **5,0 pvoz/zastavení = 30,0 m**

Průměrně prakticky dle měření: **4,1 pvoz/zastavení = 25 m**

## 6. PTV Vissim

PTV je zkratkou názvu společnosti Planung Transport Verkehr AG, v překladu Plánování transportu dopravy, která byla založena roku 1992 v Německu.

Vissim je zkratkou názvu programu Verkehr In Städten - SIMulationmodell, v překladu Doprava ve městech – Simulační model, který vytvořila společnost PTV Group. Jedná se o mikroskopický simulační software dopravních proudů.

Simulace pomocí modulu VisVAP

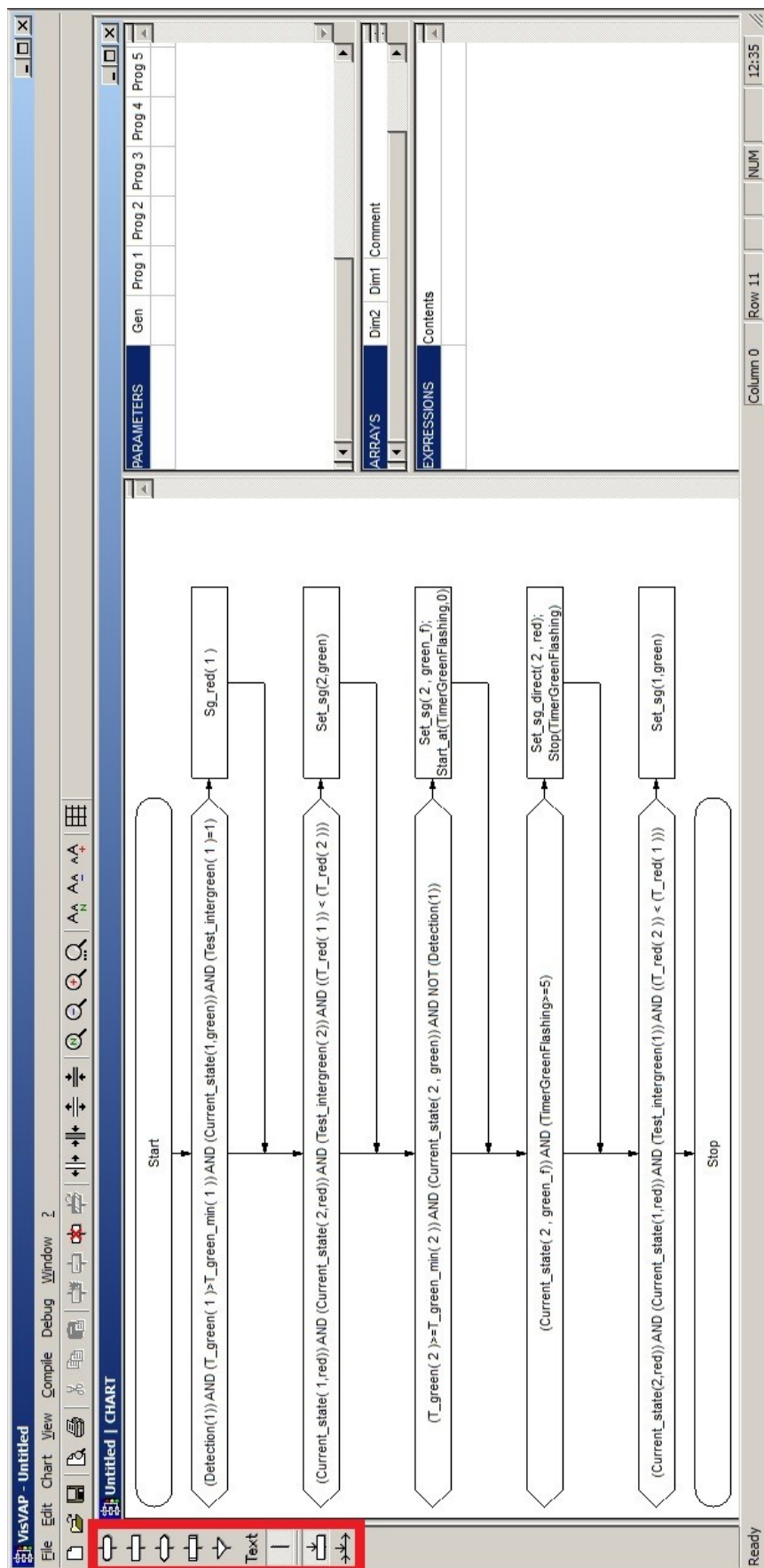
### 6.1 Modul VisVAP

VAP je zkratkou názvu Vehicle Actuated Programming, v překladu Programování řízení/pohánění vozidel. Pomocí tohoto modulu je možné vytvořením vývojového diagramu naprogramovat logiku řízení provozu.

V této práci bylo žádoucí využít funkce modulu VisVAP k vytvoření co nejrealističtějšího modelu poptávkového přechodu a jeho vlivu na místní komunikaci. Modul měl být využit k vytvoření vývojového diagramu, který by dynamicky řídil SSZ dle poptávky vyvolané chodci. Poptávka měla být vyvolána příchodem prvního chodce do oblasti blízké přechodu pro chodce, ve které je nainstalován virtuální detektor. Detektor by tuto skutečnost zaznamenal a simulační program by vytvořil poptávku, tedy by simuloval reálný stav, kdy chodci danou poptávku vytváří stlačením tlačítka pro chodce.

#### Postup:

1. Byl spuštěn modul VisVAP. Relativní cesta ke spouštěcímu souboru modulu VisVAP je z adresáře PTV Vission: PTV Vissim 8\VisVAP \EXE \VisVAP.exe Při ponechání původní instalační cesty je složka PTV Vission umístěna v podsložce Program files (x86), která je ve složce Místní disk (C).
2. Byl vytvořen vývojový diagram pomocí značek znázorněných ve svislé levé části modulu. Samotný textový obsah značek byl psán ručně a postupně byly vytvářeny jednotlivá větvení a kroky diagramu.



Obr. 9 Vývojový diagram



Popis značek užitých ve vývojovém diagramu:



- mezní značka, pro zahájení nebo ukončení činnosti



- příprava, pro modifikaci činnosti, zápis cyklů se známým počtem opakování nebo pro zápis záhlaví procedur



- zpracování, pro zápis příkazů přiřazení



- šipky, pro zobrazení směru řídicího toku

- Hotový vývojový diagram byl uložen pod názvem test.vv. V záložce COMPILER byla vybrána možnost CHECK FLOW CHART a poté ve stejné záložce GENERATE VAP FILE, čímž byl vytvořen soubor test.vap.
- V Poznámkovém bloku byl vytvořen soubor obsahující informace o názvu signálních skupin, matici signálního plánu a fázích.

```
test.pua – Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
$SIGNAL_GROUPS
$
K1 1
K2 2

$IGM
$
      K1    K2
K1    -127   4
K2     4   -127

$STAGES
$
stage_1 K1
red     K2
stage_2 K2
red     K1

$STARTING_STAGE
$
STAGE_1

$END
```

Obr. 10 Poznámkový blok, soubor.pua

5. Vytvořený soubor byl uložen pod názvem test.pua.
6. Pomocí nástroje LINKS byla vytvořena dvoupruhová, obousměrná komunikace pro vozidla o délce 100 m (příkladná délka) a příslušné šířce: v modelu č. 1 o šířce 9 m a v modelu č. 2 v šířce 10 m.
7. Bylo vytvořeno složení dopravního proudu příkazem VEHICLE COMPOSITIONS. Složení dopravního proudu bylo vytvořeno dle vlastních výsledků sčítání dopravy. Do složení proudu byli vloženi také cyklisté, kteří reprezentují motocykly – nedochází k jejich předjíždění dvoustupými vozidly a tak věrně simulují motocykl v dopravě.
8. Pomocí nástroje VEHICLE INPUTS byla zatížena komunikace počtem vozidel vyplývajících z výsledků vlastního měření a nastavil pro vozidla rychlost 50 km/h.
9. Pomocí nástroje CONFLICT AREAS byly nadefinovány kolizní plochy, přičemž přednost byla nastavena pro chodce. Toto nastavení ovlivňuje provoz na komunikaci, jelikož vozidla čekají, až poslední chodec přejde přechod pro chodce a uvolní tak i reálně cestu pro vozidla.
10. V záložce SIGNAL CONTROL  $\Rightarrow$  SIGNAL CONTROLLERS byl vytvořen nový signální plán, ve kterém byl přidán do kolonky WTT files soubor vap216.wtt a odebrán původní soubor VISSIG.wtt. Tento nový signální plán byl pojmenován test, vybrán typ VAP a nastaven variabilní čas cyklu. V záložce SIGNAL GROUPS byly vytvořeny 2 signální skupiny a pojmenovány signální skupinu 1 dle souboru test.pua K1 a nastaveny hodnoty: Min. Green – Min. Red – Red Amber – Amber jako 5 – 1 – 2 – 3. Signální skupina 2 byla pojmenována dle souboru test.pua K2 a nastaveny hodnoty: Min. Green – Min. Red – Red Amber – Amber jako 5 – 1 – 0 – 0. V záložce CONTROLLER (VAP) byla v kolonce Interstages file vybrána cesta k dříve vytvořenému souboru test.pua a v kolonce Logic file byla vybrána cesta k dříve vytvořenému souboru test.vap
11. Pomocí nástroje LINKS byly vytvořeny 2 protisměrné pozemní komunikace pro pěší ve stejné úrovni, jako komunikace pro vozidla v 1. bodě. Nové komunikace pro pěší byly situovány těsně vedle sebe a to v kolmém úhlu ke komunikacím pro vozidla.
12. Na komunikacích pro pěší v místě přecházení byly vytvořeny přechody pro chodce pomocí nástroje PAVEMENT MARKIN.

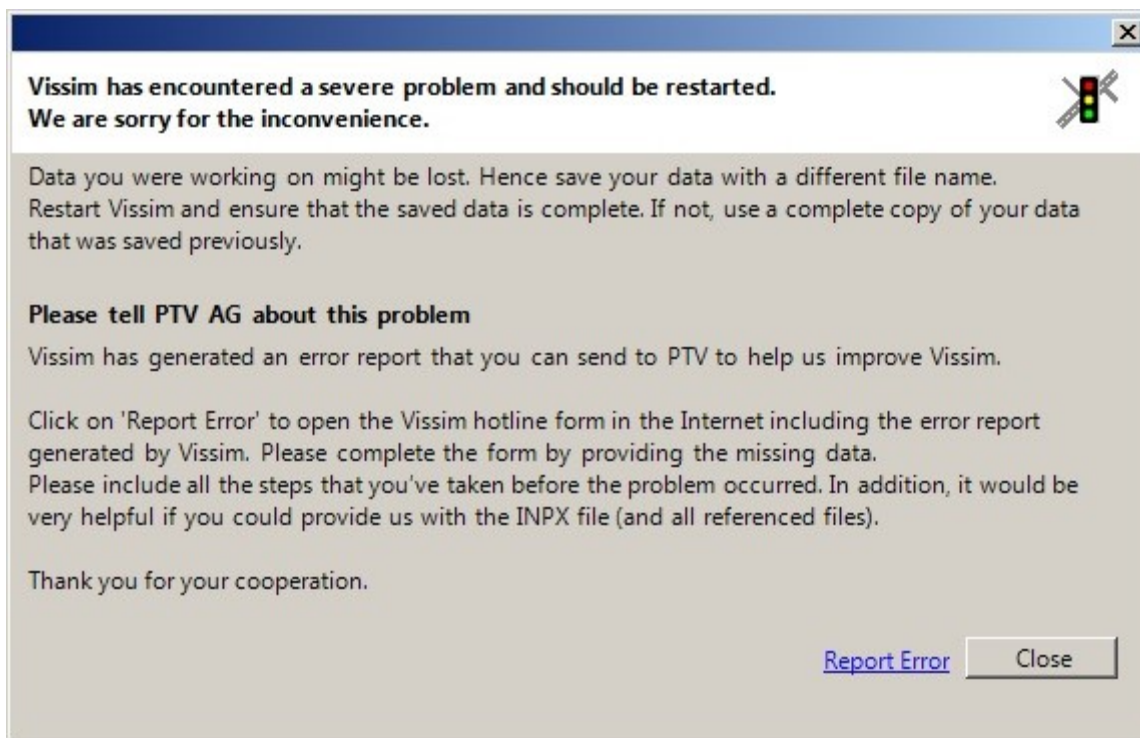
13. Pomocí nástroje AREAS byly vytvořeny 2 plochy pro vstup a výstup chodců. Dané plochy jsou situovány na koncích komunikací pro pěší.
14. Pomocí nástroje PEDESTRIAN INPUTS byl vložen bod pro vstupu chodců do obou příslušných ploch.
15. Pomocí nástroje PEDESTRIAN ROUTES byly nadefinovány trasy chodců a to takovým způsobem, že začátek jejich trasy se nachází na ploše začátku směru komunikace, ze které vychází a končí v protější ploše, ale v protisměrné komunikaci pro pěší, tedy v ploše na začátku protisměrné komunikace pro pěší.
16. Pomocí nástroje SIGNAL HEADS byly vytvořeny linie na všech komunikacích v příslušných směrech, které nám určují místo (příčný profil), od kterého fyzicky platí světelné signalizační zařízení. Na komunikacích pro vozidla byly tyto linie umístěny 2 m před přechodem pro chodce ve směru jízdy vozidel a na komunikacích pro chodce byly umístěny těsně před začátkem přechodu pro chodce ve směru dané komunikace pro chodce.
17. V nastavení vytvořených 4 linií (SIGNAL HEADS) na komunikacích u přechodu pro chodce byly vybrány odpovídající signální skupiny: signální skupina 1 na komunikacích pro vozidla a signální skupina 2 na komunikacích pro chodce.
18. Pomocí nástroje DETECTORS byly umístěny celkově 2 virtuální detektory na komunikacích pro chodce. Oba detektory byly situovány těsně před linie představující světelné signalizační zařízení ve směru pohybu chodců na komunikacích.
19. Byla vybrána 1 z 2 komunikací pro chodce a posunuta i s přechodem pro chodce a vytvořenou linií (SIGNAL HEAD) přes druhou tak, aby byl SIGNAL HEAD situovaný těsně před přechodem druhé komunikace pro chodce.

Bohužel se pomocí výše zmíněného postupu za použití modulu VisVAP nepodařilo simulaci spustit. Mnohokrát byl tento postup opakován se snahou přijít na případné chyby, které mohly vzniknout díky komplexní složitosti jednotlivých kroků, zejména týkajících se modulu VisVAP a následnému zrušení původních vazeb a vytvoření nových, ale neúspěšně.

Při jednom z posledních pokusů o spuštění simulace byl vytvořen programem PTV Vissim 8 chybový soubor s názvem test\_exception.err, ve kterém se opakuje hlášení chyby: The error occurred in line 170 of file SignalGroupBase.cpp in function const class CSignalController \*\_\_cdecl CSignalGroupBase::GetOwner(void) const. Information: not available. Toto chybové hlášení odkazuje na soubor s názvem SignalGroupBase.cpp. Zvláštní ale je, že se tento soubor nepodařilo na školní učebně nalézt či lokalizovat, což může být způsobeno například omezenými právy mého studentského účtu nebo tím, že danému souboru či složce, ve které je umístěn, byl přiřazen skrytý atribut.

Celý proces provázela chybová hlášení. Některá psaná v jazyce anglickém a některá i německém. Právě případy chybového hlášení v německém jazyce poukazují na “mládí” modulu VisVAP a jeho schopnosti koordinace s PTV Vissim jako celku. Další takový neúplně logický problém při tvorbě simulace se projevuje v kroku č. 10, kde je nutno vytvořit vazbu na soubor vap216.wtt, zrušit vazbu předešlou a poté vybrat typ signálního plánu VAP. Po vybrání tohoto typu signálního plánu už ale informace o předešlém kroku vytvoření nové vazby zanikla a uživatel se k ní již nemá dostat jak jinak, než že nadstavit typ signálního plánu zpět na Fixed time (Fixní čas). Pokud ale tohle uživatel udělá, například za účelem kontroly vytvoření a uložení vazby, ztratí veškerá nastavení a vazby vytvořená po nastavení typu signálního plánu VAP, takže je následně musí uživatel zase obnovit a to včetně případného nastavení konfigurace nahrávání detektorů.

Poslední chybové hlášení, které již neposkytlo žádnou validní informaci o chybě na mé straně, případně napravení nedokonalosti v předchozích krocích, se již nepodařilo obejít. Zobrazilo se pokaždé při spuštění simulace a zastavilo práci programu PTV Vissim 8 a ukončilo jej.



**Obr. 11 Poslední chybové hlášení**

Na obr. 11 je uveden obsah výše zmíněného posledního chybového hlášení. Program PTV Vissim 8 mi v něm oznamuje, že narazil na závažný problém a měl by být restartován a společnost PTV Group se omlouvá za nepříjemnost. Dále se v chybovém hlášení píše, že data, na kterých jsem pracoval, mohou být ztracena. Je zde vyjádřen požadavek o nahlášení tohoto problému společnosti PTV Group a nahlášení daného problému díky vyplnění formuláře a zasláním chybového protokolu, který program vytvořil. Také bych měl zahrnout informace o všech jednotlivých krocích, které jsem provedl před tím, než se tento problém vyskytl. Ještě je zde dodatek, že by bylo velmi nápomocné, kdybych jim zaslal také spouštěcí soubor k mé simulaci (INPX file) a poděkování za spolupráci.

Díky komplikacím, problémům, chybovým hlášením a následné nemožnosti spuštění simulace bylo rozhodnuto možnost dynamického řízení SSZ vyvolaného poptávkou chodců zavrhnout a nahradit řízením pomocí pevného signálního plánu.

## 7. Výpočet pevného signálního plánu

### 7.1 Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova

Vstupní údaje:

- Délka doby trvání signálu stůj pro vozidla: 21 s
- Délka doby trvání červeno-žlutého signálu: 2 s
- Délka doby trvání žlutého signálu: 3 s
- Průměrný počet cyklů za 1 hodinu byl stanoven ze sčítání dopravy: 46
- Délka doby trvání signálu volno pro chodce: 9 s

Postup výpočtu:

**Průměrná délka trvání signálů stůj pro vozidla za hodinu**

$$c_{v/h} = c_v \times P_{c/h}$$

Kde  $c_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů stůj pro vozidla dohromady za 1 hodinu [s]

$c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$P_{c/h}$  je průměrný počet cyklů za 1 hodinu [-]

Po dosazení:

$$c_{v/h} = 21 \times 46 = 966 \text{ s}$$

**Průměrná délka trvání všech signálů pro vozidla kromě signálu stůj pro vozidla za hodinu**

$$Z_{v/h} = 3600 - c_{v/h}$$

Kde  $Z_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů volno pro vozidla dohromady za 1 hodinu včetně červeno-žlutých a žlutých signálů [s]

$c_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů stůj pro vozidla dohromady za 1 hodinu [s]



Po dosazení:

$$Z_{v/h} = 3600 - 966 = 2634 \text{ s}$$

### **Délka trvání signálu volno pro vozidla v cyklu**

$$z_v = \left( \frac{Z_{v/h}}{P_{c/h}} \right) - t_{c zl} - t_{zl}$$

Kde  $z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla v 1 cyklu [s]

$Z_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů volno pro vozidla dohromady za 1 hodinu včetně červeno-žlutých a žlutých signálů [s]

$P_{c/h}$  je průměrný počet cyklů za 1 hodinu [-]

$t_{c zl}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_v = \left( \frac{2634}{46} \right) - 2 - 3 = 52 \text{ s}$$

### **Délka cyklu**

$$t_c = z_v + t_{c zl} + t_{zl} + c_v$$

Kde  $t_c$  je délka doby trvání cyklu [s]

$z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla v 1 cyklu [s]

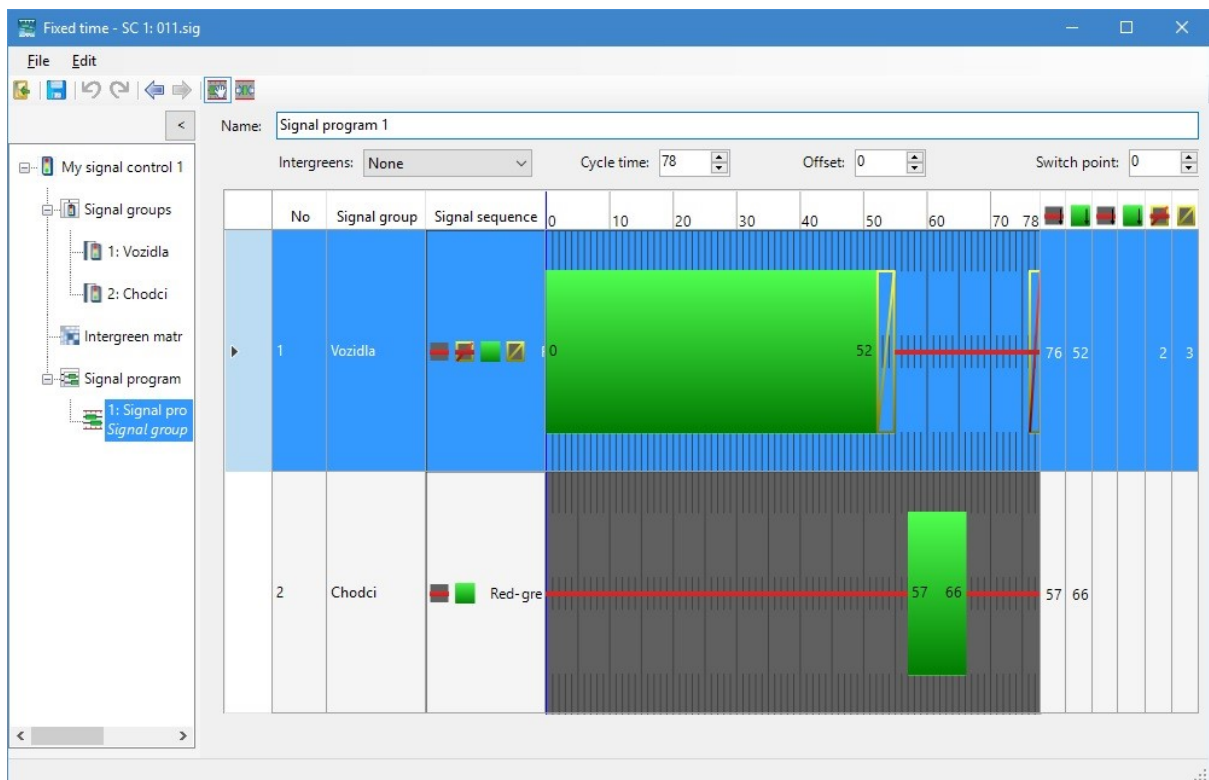
$t_{c zl}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$c_v$  je délka trvání signálu stůj pro vozidla [s]

Po dosazení:

$$t_c = 52 + 2 + 3 + 21 = 78 \text{ s}$$



Obr. 12 Pevný signální plán 17. listopadu x Slavíkova (PTV Vissim 8)

## 7.2 Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema

Vstupní údaje:

- Délka doby trvání signálu stůj pro vozidla: 17 s
- Délka doby trvání červeno-žlutého signálu: 2 s
- Délka doby trvání žlutého signálu: 3 s
- Průměrný počet cyklů za 1 hodinu byl stanoven ze sčítání dopravy: 89
- Délka doby trvání signálu volno pro chodce: 7 s

Postup výpočtu:

**Průměrná délka trvání signálů stůj pro vozidla za hodinu**

$$c_{v/h} = c_v \times P_{c/h}$$

Kde  $c_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů stůj pro vozidla dohromady za 1 hodinu [s]

$c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$P_{c/h}$  je průměrný počet cyklů za 1 hodinu [-]

Po dosazení:

$$c_{v/h} = 17 \times 89 = 1513 \text{ s}$$

**Průměrná délka trvání všech signálů pro vozidla kromě signálu stůj pro vozidla za hodinu**

$$Z_{v/h} = 3600 - c_{v/h}$$

Kde  $Z_h$  je průměrná délka doby trvání všech signálů volno pro vozidla dohromady za 1 hodinu včetně červeno-žlutých a žlutých signálů [s]

$c_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů stůj pro vozidla dohromady za 1 hodinu [s]

Po dosazení:

$$Z_{v/h} = 3600 - 1513 = 2087 \text{ s}$$

**Délka trvání signálu volno pro vozidla v cyklu**

$$z_v = \left( \frac{Z_{v/h}}{P_{c/h}} \right) - t_{czl} - t_{zl}$$

Kde  $z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla v 1 cyklu [s]

$Z_{v/h}$  je průměrná délka doby trvání všech signálů volno pro vozidla dohromady za 1 hodinu včetně červeno-žlutých a žlutých signálů [s]

$P_{c/h}$  je průměrný počet cyklů za 1 hodinu [-]

$t_{czl}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_v = \left( \frac{2087}{89} \right) - 2 - 3 = 18 \text{ s}$$

## Délka cyklu

$$t_c = z_v + t_{c zl} + t_{zl} + c_v$$

Kde  $t_c$  je délka doby trvání cyklu [s]

$z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla v 1 cyklu [s]

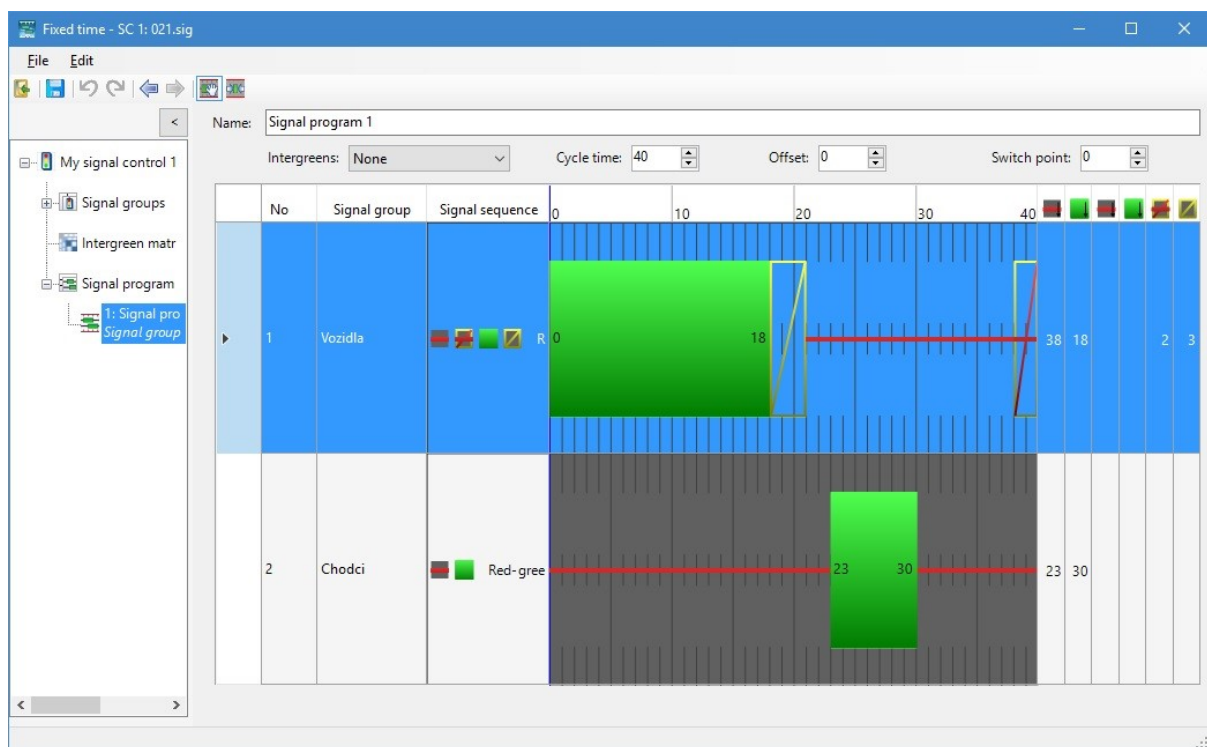
$t_{c zl}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$c_v$  je délka trvání signálu stůj pro vozidla [s]

Po dosazení:

$$t_c = 18 + 2 + 3 + 17 = 40 \text{ s}$$



Obr. 13 Pevný signální plán 17. listopadu x Bedřicha Nikodema (PTV Vissim 8)

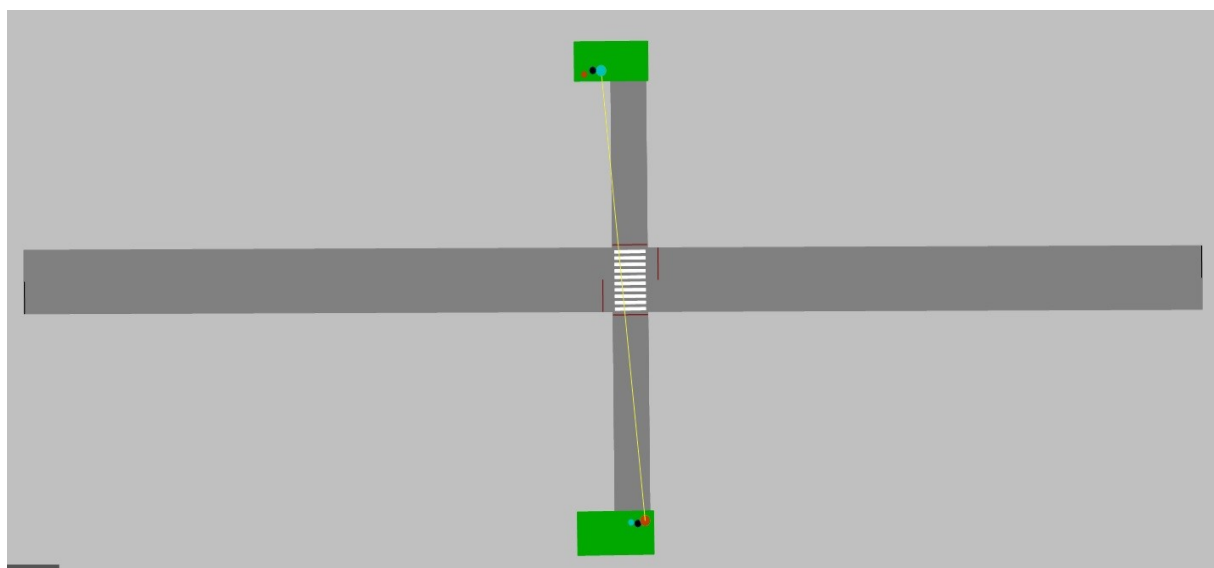
## 8. Vytvoření modelů v PTV Vissim 8 s pevným signálním plánem

### Postup:

1. Pomocí nástroje LINKS byla vytvořena dvoupruhová, obousměrná komunikace pro vozidla o délce 100 m (příkladná délka) a příslušné šířce: v modelu č. 1 o šířce 9 m a v modelu č. 2 v šířce 10 m.
2. Déle bylo vytvořeno složení dopravního proudu příkazem VEHICLE COMPOSITIONS. Složení dopravního proudu bylo vytvořeno dle vlastních výsledků sčítání dopravy. Do složení proudu byli vloženi také cyklisti, kteří reprezentují motocykly – nedochází k jejich předjíždění dvoustopými vozidly a tak věrně simulují motocykl v dopravě.
3. Pomocí nástroje VEHICLE INPUTS byla zatížena komunikace počtem vozidel vyplývajících z výsledků vlastního měření a nastavována pro vozidla rychlost 50 km/h.
4. Pomocí nástroje CONFLICT AREAS byly nadefinovány kolizní plochy, přičemž přednost byla nastavena pro chodce. Toto nastavení ovlivňuje provoz na komunikaci, jelikož vozidla čekají, až poslední chodec přejde přechod pro chodce a uvolní tak i reálně cestu pro vozidla.
5. V záložce SIGNAL CONTROL  $\Rightarrow$  SIGNAL CONTROLLERS byl vytvořen nový, fixní signální plán. V signálním plánu byly vytvořeny 2 signální skupiny: Vozidla a Chodci. **Pro Vozidla:** dobu trvání červeno-žlutého signálu jsem změnil z 1 s na 2 s. Nastavení formátu sekvence bylo ponecháno na: Red – red/amber – green – amber a k nim přiřazeny doby (minimálního) trvání 1 – 2 – 5 – 3 [s]. **Pro Chodce:** nastavení formátu sekvence bylo změněno na Red – green a ponechány doby (minimálního) trvání 1 – 5 [s].  
  
V signálním plánu byl vytvořen také signální program, který zahrnuje doby trvání jednotlivých sekvencí, které se pak dohromady po sečtení rovnají délce doby trvání 1 cyklu. Výpočet doby trvání 1 cyklu je znázorněn v kapitole 7 s názvem Výpočet pevného signálního plánu.
6. Pomocí nástroje LINKS byly vytvořeny 2 protisměrné pozemní komunikace pro pěší ve stejné úrovni, jako komunikace pro vozidla v 1. bodě. Nové komunikace pro pěší byly situovány těsně vedle sebe a to v kolmém úhlu ke komunikacím pro vozidla.
7. Na komunikacích pro pěší v místě přecházení byly vytvořeny přechody pro chodce pomocí nástroje PAVEMENT MARKIN.
8. Pomocí nástroje AREAS byly vytvořeny 2 plochy pro vstup a výstup chodců. Dané plochy jsou situovány na koncích komunikací pro pěší.

9. Pomocí nástroje PEDESTRIAN INPUTS byl vložen bod pro vstupu chodců do obou příslušných ploch.
10. Pomocí nástroje PEDESTRIAN ROUTES byly nadefinovány trasy chodců a to takovým způsobem, že začátek jejich trasy se nachází na ploše začátku směru komunikace, ze které vychází a končí v protější ploše, ale v protisměrné komunikaci pro pěší, tedy v ploše na začátku protisměrné komunikace pro pěší.
11. Pomocí nástroje SIGNAL HEADS byly vytvořeny linie na všech komunikacích v příslušných směrech, které určují místo (příčný profil), od kterého fyzicky platí světelné signalizační zařízení. Na komunikacích pro vozidla byly tyto linie umístěny 2 m před přechodem pro chodce ve směru jízdy vozidel a na komunikacích pro chodce byly umístěny těsně před začátkem přechodu pro chodce ve směru dané komunikace pro chodce.
12. V nastavení vytvořených 4 linií (SIGNAL HEADS) na komunikacích u přechodu pro chodce byla vybrána odpovídající signální skupina: signální skupinu 1 na komunikacích pro vozidla a signální skupinu 2 na komunikacích pro chodce.
13. Byla vybrána 1 z 2 komunikací pro chodce a posunuta i s přechodem pro chodce a vytvořenou linií (SIGNAL HEAD) přes druhou tak, aby byl SIGNAL HEAD situovaný těsně před přechodem druhé komunikace pro chodce.

Díky tomu, že byl vytvořen SIGNAL HEAD pro každou komunikaci pro chodce zvlášť, tak na něj budou simulovaní chodci reagovat jen v určitém směru, ve kterém je vytvořena daná komunikace. Pokud tedy simulovaný chodec nestihne přejít přes celý přechod do doby, než se na protilehlém SSZ rozsvítí signál “stůj“, nezastaví se před ním, ale pokračuje v cestě do předdefinované výstupní plochy tak, jak by to probíhalo v reálné situaci.



**Obr. 14 Ukázka modelu s označeným pedestrian route**



## 8.1 Výsledky simulací předmětných modelů

Simulace byly vyhodnocovány na základě výsledků sčítačů, které měřily maximální délku front a zároveň na základě vlastního pozorování z důvodu kontroly správnosti simulace, vlastního (ručního) měření délky fronty a zároveň zkoumání, jak ke vzniku maximálních délek front v simulaci dochází.

Měření maximální délky fronty vozidel v simulaci jsem prováděl na 5 komunikacích různé délky z důvodu zkoumání, zdali má délka komunikace vliv na tvoření maximální délky fronty a to z důvodu rozdílné vzdálenosti mezi stopčarou, u které vozidla zastavují a místa vstupu vozidel, kde vozidla na danou komunikaci vjíždí.

Při simulacích jednotlivých modelů byly ponechány stejné signální plány, intenzity vozidel, rychlosti vozidel a šířky komunikací pro jednotlivé modely, aby nedocházelo k výraznému zkreslování výstupních dat, tedy samotné maximální délky fronty. Kvůli zohlednění skladby dopravních proudů a z důvodu jejich sjednocení byly použity pro simulaci hodnoty v jednotkových (přepočtených) vozidlech.

Každá simulace byla opakována 10 krát, aby došlo k eliminaci možných chyb měření a chyb či značných odchylek v průběhu simulace.

V případě modelu č. 1 (17. listopadu x Slavíkova) byla naměřena maximální délky fronty 72 m, což se rovná maximální délce fronty naměřené během dopravního průzkumu, tedy 72 m. Výsledek simulace při daném počtu komunikací a opakování tedy odpovídá reálnému stavu maximální délky fronty za dobu dopravního průzkumu.

V případě modelu č. 2 (17. listopadu x Bedřicha Nikodema) byla naměřena maximální délky fronty 62 m, což je jen o 2 m více, než byla naměřena maximální délky fronty během dopravního průzkumu, tedy 60 m. Výsledek simulace při daném počtu komunikací a opakování tedy odpovídá reálnému stavu maximální délky fronty za dobu dopravního průzkumu.

Oba výsledky simulací považuji za dostatečný podklad pro zhodnocení simulace v programu PTV Vissim jako dostatečně přesné a odpovídající naměřené skutečnosti v oblasti tvorby maximální délky fronty. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl v simulování dopravních situací pokračovat, a abych zvýšil pravděpodobnost výskytu případů, které mohou při tvorbě fronty

nastat a zohlednil i skutečnost, že dochází k ovlivnění provozu na 2. předmětné křižovatce (17. listopadu x Bedřicha Nikodema) vzdálené od přechodu pro chodce 80 m, jsem se rozhodl zvýšit počet komunikací, na kterých bude provedeno měření maximální délky fronty, na 20.

## 8.2 Podmínky pro vytvoření pevného signálního plánu simulace maximální délky fronty

Díky výsledkům modifikovaného výpočtu průměrné délky fronty, které lépe odpovídají naměřené skutečnosti a jelikož je výpočet založen na délce signálu stůj pro vozidla, bylo pro jednotnost posuzování maximální délky fronty v simulacích potřeba také vycházet z délky doby signálu stůj pro vozidla.

Při stanovování délky doby signálů stůj pro vozidla byly zohledňovány následující hodnoty:

- |                                                                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| - Minimální délka signálu volno pro chodce:                                                 | 5 s     |
| - Délka mezičasu mezi koncem signálu volno pro vozidla a začátkem signálu volno pro chodce: | 4 s     |
| - Maximální doba čekání pro chodce na signál volno:                                         | 60 s    |
| - Minimální uvažovaná šířka jízdního pruhu místní komunikace:                               | 3,0 m   |
| - Maximální uvažovaná délka signálu stůj pro vozidla:                                       | 25 s    |
| - Rozestupy mezi délkou signálu stůj pro vozidla:                                           | 5 s     |
| - Uvažovaná rychlost pohybu chodců:                                                         | 1,4 m/s |
| - Délka doby trvání červenožlutého signálu:                                                 | 2 s     |
| - Délka doby trvání žlutého signálu:                                                        | 3 s     |

Dále bylo stanoveno dodržení podmínek:

- Signál volno pro chodce musí být dostatečně dlouhý, aby chodec, který vkročil na začátku signálu volno na přechod, přešel nejméně 1/2 šířky vozovky.
- Doba intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu musí být dostatečně dlouhá, aby chodec, který vkročil na přechod v posledním možném okamžiku za doby platného signálu volno, přešel celou šíří vozovky před začátkem červenožlutého signálu.
- Doba signálu volno pro vozidla musí být dostatečně dlouhá na to, aby mohlo dojít k vyklizení celé fronty vozidel (vzniklé za dobu signálu stůj) a nemohlo tak docházet

k řetězové reakci - umělému prodlužování fronty o délku části fronty, která by nebyla za dobu signálu volno vyklizena. Z tohoto důvodu byla vypočítána také maximální délka signálu volno pro vozidla v cyklu, abych možnost vzniku této řetězové reakce co nejvíce eliminoval. Součástí vlastního pozorování simulace je také kontrola, jestli nedochází k tomuto jevu a tím značného ovlivnění simulace.

### Výpočet minimální délky signálu stůj pro vozidla:

$$c_v = (t_{m(zl-zp)} - t_{zl}) + z_{p\_min} + \frac{l_{min}}{v_p}$$

Kde  $c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$t_{m(zl-zp)}$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$l_{min}$  minimální uvažovaná šířka jízdního pruhu místní komunikace [m]

$v_p$  uvažovaná rychlost pohybu chodců [m/s]

Po dosazení:

$$c_v = 4 - 3 + 5 + \frac{3,0}{1,4} = 8,14 \text{ s}$$

Délka doby trvání signálu stůj pro vozidla při uvažování minimální délky signálu volno pro chodce a minimální uvažované šířky jízdního pruhu místní komunikace je 9 s. Abych zohlednil rozestupy mezi délkou signálů stůj (tedy 5 s), abych zjednodušil orientaci v následujících grafech a abych případně zohlednil možnost snadnější interpolace mezi hodnotami, stanovuji počáteční délku signálu stůj pro vozidla 10 s. Délky signálu stůj jsou tedy pro měření a výpočty nadále uvažovány: 10 s, 15 s, 20 s, a 25 s.

### 8.3 Výpočet pevného signálního plánu pro měření maximální délky fronty

V následujících výpočtech je předpokládáno, že délka signálu volno pro chodce a délka doby mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu jsou stejně dlouhé nebo je délka signálu volno pro chodce o 1 s kratší tak, jak bylo naměřeno během dopravního průzkumu na předmětných SSZ, s výjimkou délky signálu stůj 10 s.

#### Délka signálu stůj – 10 s

$$z_p + t_i(z_p - czl) = c_v - (t_m(zl - z_p) - t_{zl})$$

Kde  $z_p$  je délka doby trvání signálu volno pro chodce [s]

$t_i(z_p - czl)$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem  
červenožlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je délka trvání červenožlutého signálu [s]

$c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$t_m(zl - z_p)$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu  
volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 10 - (4 - 3)$$

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 9 \text{ s}$$

V tomto případě je výchozí minimální délka signálu volno pro chodce, tedy 5 s:

$$5 + t_i(z_p - czl) = 9 \text{ s}$$

$$t_i(z_p - czl) = 4 \text{ s}$$

Maximální doba čekání pro chodce na signál volno je 60 s:

$$Z_v = 60 - t_{i(z_p - czl)} - (t_{m(zl - z_p)} - t_{zl})$$

Kde  $Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

60 maximální doba čekání pro chodce na signál volno

$t_{i(z_p - czl)}$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu [s]

$t_{m(zl - z_p)}$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$Z_v = 60 - 4 - (4 - 3) = 55 \text{ s}$$

Pro výpočet samotné délky signálu volno pro vozidla je ještě potřeba odečíst doby trvání červenožlutého a žlutého signálu:

$$z_v = Z_v - t_{czl} - t_{zl}$$

Kde  $z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

$Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je doba trvání červenožlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je doba trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_v = 55 - 2 - 3 = 50 \text{ s}$$

Výpočet délky cyklu:

$$t_c = z_v + t_{czl} + t_{zl} + c_v$$

Kde  $t_c$  je délka doby trvání cyklu [s]

$z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

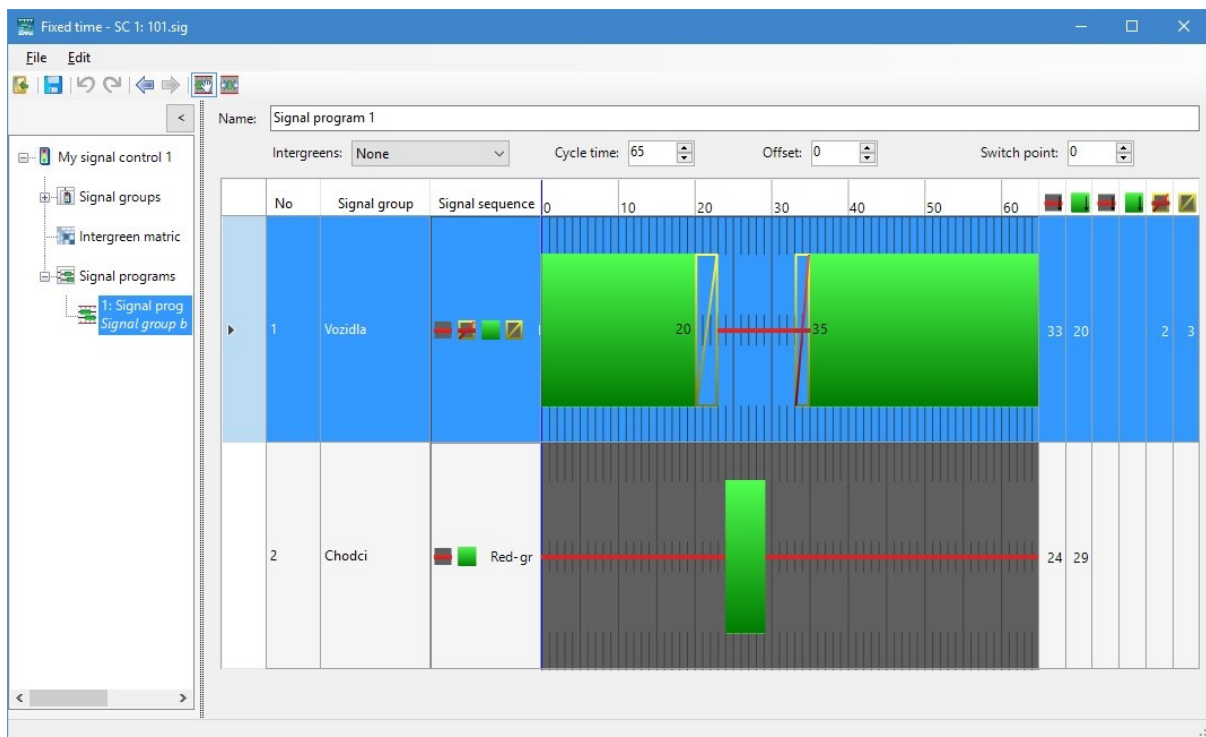
$t_{czl}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$c_v$  je délka trvání signálu stůj pro vozidla [s]

Po dosazení:

$$t_c = 50 + 2 + 3 + 10 = 65 \text{ s}$$



Obr. 15 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 10 s (PTV Vissim 8)

### Délka signálu stůj – 15 s

$$z_p + t_i(z_p - czl) = c_v - (t_m(zl - z_p) - t_{zl})$$

Kde  $z_p$  je délka doby trvání signálu volno pro chodce [s]

$t_i(z_p - czl)$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem  
červenožlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je délka trvání červenožlutého signálu [s]

$c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$t_m(zl - z_p)$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu  
volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 15 - (4 - 3)$$

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 14 \text{ s}$$

Z předpokladu, že délka signálu volno pro chodce a délka doby mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu jsou stejně dlouhé nebo je délka signálu volno pro chodce o 1 s kratší tak, jak bylo naměřeno během dopravního průzkumu na předmětných SSZ, vyplývá:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 14 \text{ s}$$

$$z_p = 7 \text{ s}$$

$$t_i(z_p - czl) = 7 \text{ s}$$



Maximální doba čekání pro chodce na signál volno je 60 s:

$$Z_v = 60 - t_{i(z_p - czl)} - (t_{m(zl - z_p)} - t_{zl})$$

Kde  $Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

60 maximální doba čekání pro chodce na signál volno

$t_{i(z_p - czl)}$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu [s]

$t_{m(zl - z_p)}$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$Z_v = 60 - 7 - (4 - 3) = 52$  s Pro výpočet samotné délky signálu volno pro vozidla je ještě potřeba odečíst doby trvání červenožlutého a žlutého signálu:

$$z_v = Z_v - t_{czl} - t_{zl}$$

Kde  $z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

$Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je doba trvání červenožlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je doba trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_v = 52 - 2 - 3 = 47 \text{ s}$$

Výpočet délky cyklu:

$$t_c = z_v + t_{czl} + t_{zl} + c_v$$

Kde  $t_c$  je délka doby trvání cyklu [s]

$z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

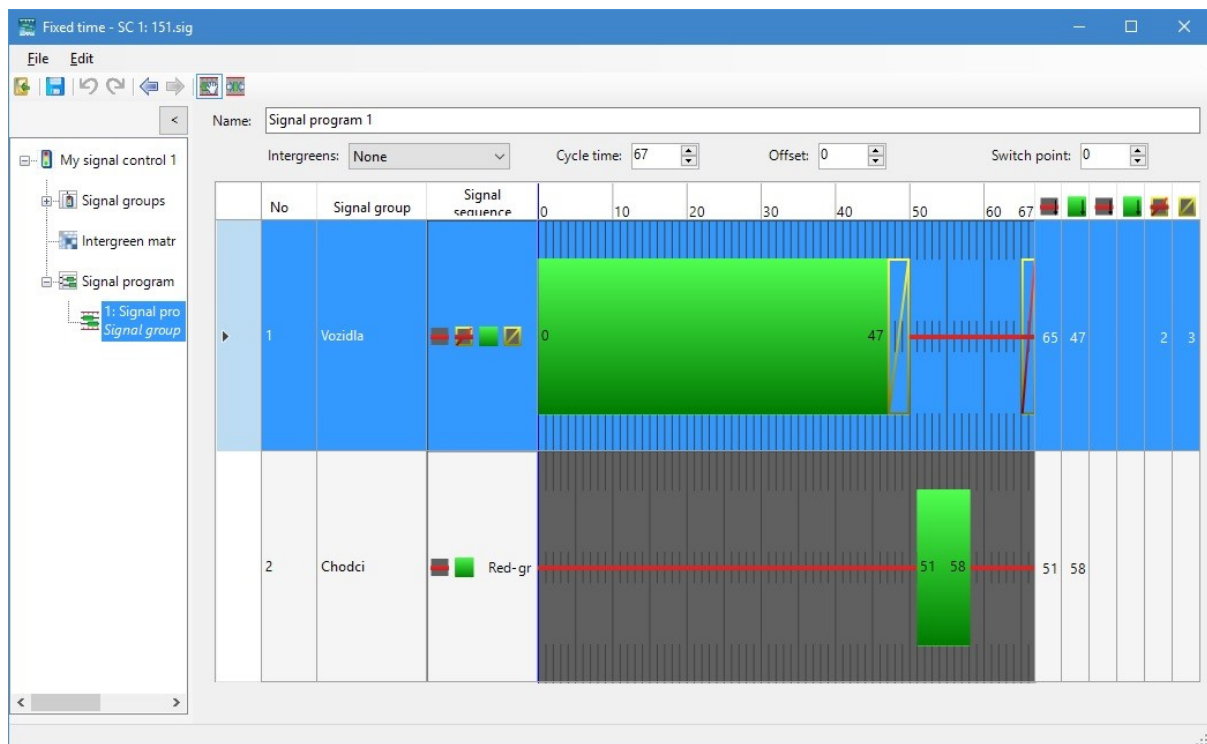
$t_{czl}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$c_v$  je délka trvání signálu stůj pro vozidla [s]

Po dosazení:

$$t_c = 47 + 2 + 3 + 15 = 67 \text{ s}$$



Obr. 16 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 15 s (PTV Vissim 8)

### Délka signálu stůj – 20 s

$$z_p + t_i(z_p - czl) = c_v - (t_m(zl - z_p) - t_{zl})$$

Kde  $z_p$  je délka doby trvání signálu volno pro chodce [s]

$t_i(z_p - czl)$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem  
červenožlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je délka trvání červenožlutého signálu [s]

$c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$t_m(zl - z_p)$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu  
volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 20 - (4 - 3)$$

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 19 \text{ s}$$

Z předpokladu, že délka signálu volno pro chodce a délka doby mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu jsou stejně dlouhé nebo je délka signálu volno pro chodce o 1 s kratší tak, jak bylo naměřeno během dopravního průzkumu na předmětných SSZ, vyplývá:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 19 \text{ s}$$

$$z_p = 9 \text{ s}$$

$$t_i(z_p - czl) = 10 \text{ s}$$

Maximální doba čekání pro chodce na signál volno je 60 s:

$$Z_v = 60 - t_{i(z_p - czl)} - (t_{m(zl - z_p)} - t_{zl})$$

Kde  $Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

60 maximální doba čekání pro chodce na signál volno

$t_{i(z_p - czl)}$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu [s]

$t_{m(zl - z_p)}$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$Z_v = 60 - 10 - (4 - 3) = 49 \text{ s}$$

Pro výpočet samotné délky signálu volno pro vozidla je ještě potřeba odečíst doby trvání červenožlutého a žlutého signálu:

$$z_v = Z_v - t_{czl} - t_{zl}$$

Kde  $z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

$Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je doba trvání červenožlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je doba trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_v = 49 - 2 - 3 = 44 \text{ s}$$

Výpočet délky cyklu:

$$t_c = z_v + t_{czt} + t_{zl} + c_v$$

Kde  $t_c$  je délka doby trvání cyklu [s]

$z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

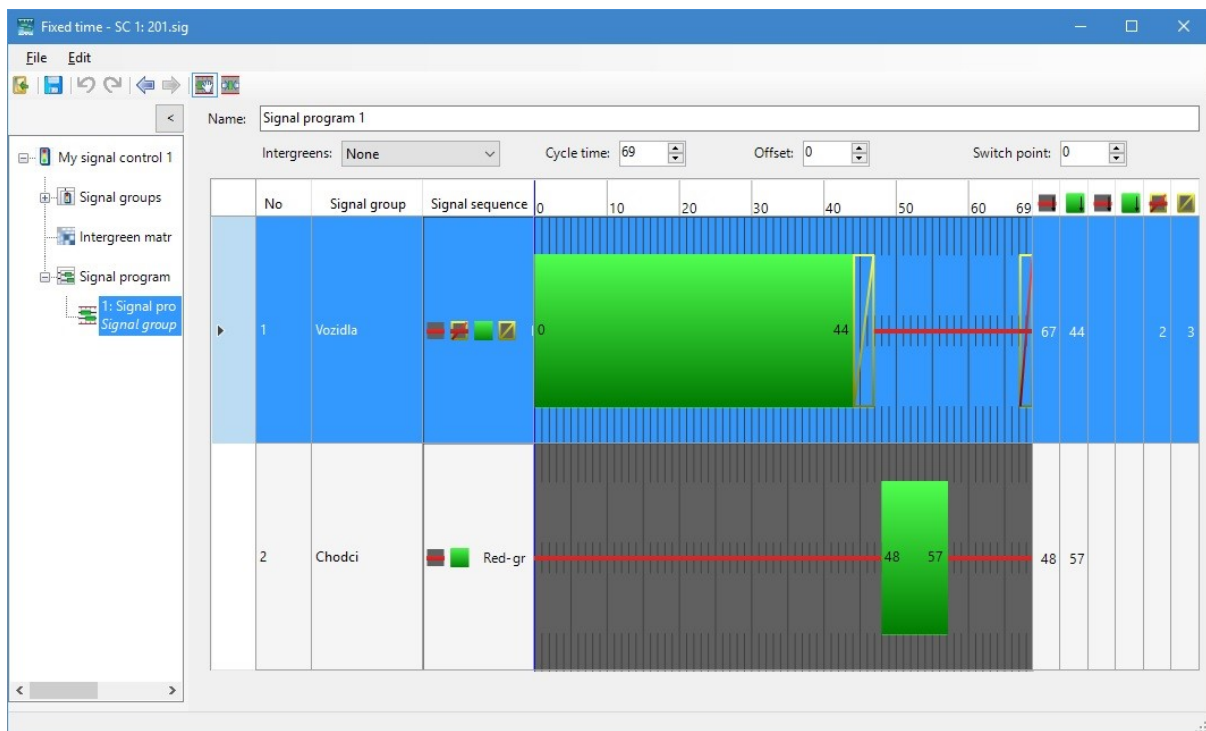
$t_{czt}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$c_v$  je délka trvání signálu stůj pro vozidla [s]

Po dosazení:

$$t_c = 44 + 2 + 3 + 20 = 69 \text{ s}$$



Obr. 17 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 20 s (PTV Vissim 8)

### Délka signálu stůj – 25 s

$$z_p + t_i(z_p - czl) = c_v - (t_m(zl - z_p) - t_{zl})$$

Kde  $z_p$  je délka doby trvání signálu volno pro chodce [s]

$t_i(z_p - czl)$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem  
červenožlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je délka trvání červenožlutého signálu [s]

$c_v$  je délka doby trvání signálu stůj pro vozidla [s]

$t_m(zl - z_p)$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu  
volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 25 - (4 - 3)$$

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 24 \text{ s}$$

Z předpokladu, že délka signálu volno pro chodce a délka doby mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu jsou stejně dlouhé nebo je délka signálu volno pro chodce o 1 s kratší tak, jak bylo naměřeno během dopravního průzkumu na předmětných SSZ, vyplývá:

$$z_p + t_i(z_p - czl) = 24 \text{ s}$$

$$z_p = 12 \text{ s}$$

$$t_i(z_p - czl) = 12 \text{ s}$$

Maximální doba čekání pro chodce na signál volno je 60 s:

$$Z_v = 60 - t_{i(z_p - czl)} - (t_{m(zl - z_p)} - t_{zl})$$

Kde  $Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

60 maximální doba čekání pro chodce na signál volno

$t_{i(z_p - czl)}$  je délka intervalu mezi koncem signálu volno pro chodce a začátkem červenožlutého signálu [s]

$t_{m(zl - z_p)}$  je délka mezičasu mezi začátkem žlutého signálu a začátkem signálu volno pro chodce [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$Z_v = 60 - 12 - (4 - 3) = 47 \text{ s}$$

Pro výpočet samotné délky signálu volno pro vozidla je ještě potřeba odečíst doby trvání červenožlutého a žlutého signálu:

$$z_v = Z_v - t_{czl} - t_{zl}$$

Kde  $z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

$Z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla včetně červenožlutého a žlutého signálu [s]

$t_{czl}$  je doba trvání červenožlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je doba trvání žlutého signálu [s]

Po dosazení:

$$z_v = 47 - 2 - 3 = 42 \text{ s}$$



Výpočet délky cyklu:

$$t_c = z_v + t_{czt} + t_{zl} + c_v$$

Kde  $t_c$  je délka doby trvání cyklu [s]

$z_v$  je délka doby trvání signálu volno pro vozidla [s]

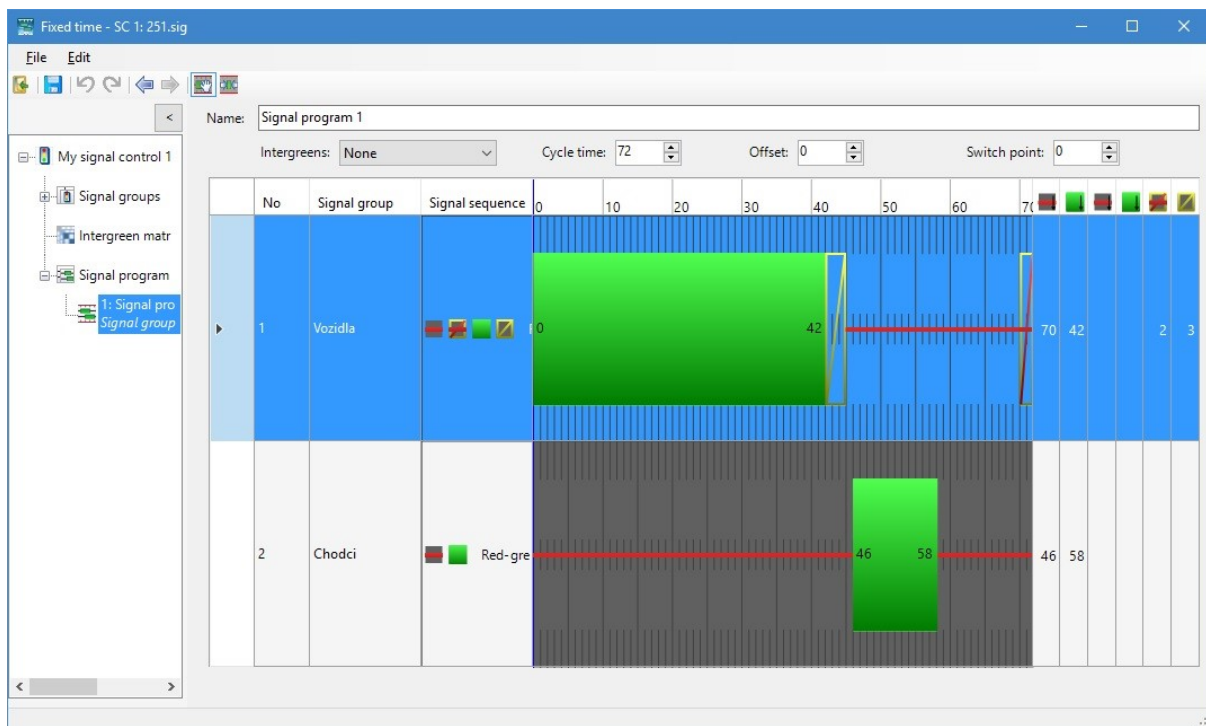
$t_{czt}$  je délka trvání červeno-žlutého signálu [s]

$t_{zl}$  je délka trvání žlutého signálu [s]

$c_v$  je délka trvání signálu stůj pro vozidla [s]

Po dosazení:

$$t_c = 42 + 2 + 3 + 25 = 72 \text{ s}$$



Obr. 18 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 25 s (PTV Vissim 8)

## 9. Výstupy měření maximální délky fronty

Výsledky byly vyhodnocovány rovněž na základě výsledků sčítačů, které měřily maximální délku front a zároveň na základě vlastního pozorování tak, jako v případě vyhodnocování simulací předemtných modelů. Počet komunikací, na kterých bylo provedeno měření maximální délky front, byl navýšen na 20 z důvodu zvýšení pravděpodobnosti výskytu případů, které mohou při simulaci nastat a počet opakování simulací byl ponechán na 10.

Rozdíl mezi jednotlivými simulacemi byl pouze v intenzitě vozidel a nastavení pevných signálních plánů. Celkem byly vytvořeny 4 různé signální plány (viz. kapitola Výpočet pevného signálního plánu pro měření maximální délky front), které následně řídily jednotlivé proudy vozidel na komunikacích. Intenzita vozidel byla stanovena v rozmezí 0 – 1200 pvoz/h a byla postupně navyšována v intervalech po 100 pvoz/h. Maximální měřená délka fronty byla stanovena na 300 m.

Při analýze jednotlivých výsledků měření maximální délky front vozidel byly zjištěny hodnoty, které narušily způsob samotného vyhodnocování maximální délky fronty. Původní metodika byla spjata s naměřenou maximální naměřenou délkou fronty, která byla zaznamenána a vyhodnocena výstupní údaj pro danou intenzitu vozidel a délku doby signálu stůj. Výsledky maximální délky fronty ale v některých simulacích neodpovídaly maximálním délkám front, které byly naměřeny při intenzitách vyšších. Tedy maximální délka fronty byla zaznamenána větší, než maximální délka fronty při vyšší intenzitě vozidel, což bylo opakovaně potvrzováno i při vlastní vizuální kontrole. Například při zatížení komunikací intenzitou 700 pvoz/h a délce doby signálu stůj 25 s byla naměřena maximální délka fronty 220 m. Ale při zatížení komunikací intenzitou 800 pvoz/h a 900 pvoz/h při délce doby signálu stůj 25 s byly naměřeny maximální délky front pouze 180 m a 170 m. Také bylo zaznamenáno, že nešlo pouze o náhodnou výchylku v dané simulaci, jelikož tato skutečnost byla zaznamenána opakovaně i při malé změně zatížení dopravních proudů intenzitami 690 pvoz/h a 710 pvoz/h. Na základě tohoto zjištění bylo rozhodnuto o zaznamenávání pouze takových hodnot maximálních délek front, které jsou vůči maximálním délkám front v následující simulaci s vyšším zatížením komunikace nižší.

## 9.1 Výsledky měření maximální délky fronty

Upravené výsledky měření maximální délky fronty jsou zaznamenány v tabulkách 10 – 13.

**Tab. 10 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 10 s**

Délka signálu stůj pro vozidla - 10 [s]	
Intenzita vozidel [pvoz/h]	Max. délka fronty [m]
0	0
100	12
200	18
300	25
400	31
500	50
600	55
700	70
800	78
900	86
1000	89
1100	128
1200	162

**Tab. 11 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 15 s**

Délka signálu stůj pro vozidla - 15 [s]	
Intenzita vozidel [pvoz/h]	Max. délka fronty [m]
0	0
100	12
200	25
300	32
400	45
500	53
600	62
700	72
800	84
900	96
1000	109
1100	147
1200	196

**Tab. 12 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 20 s**

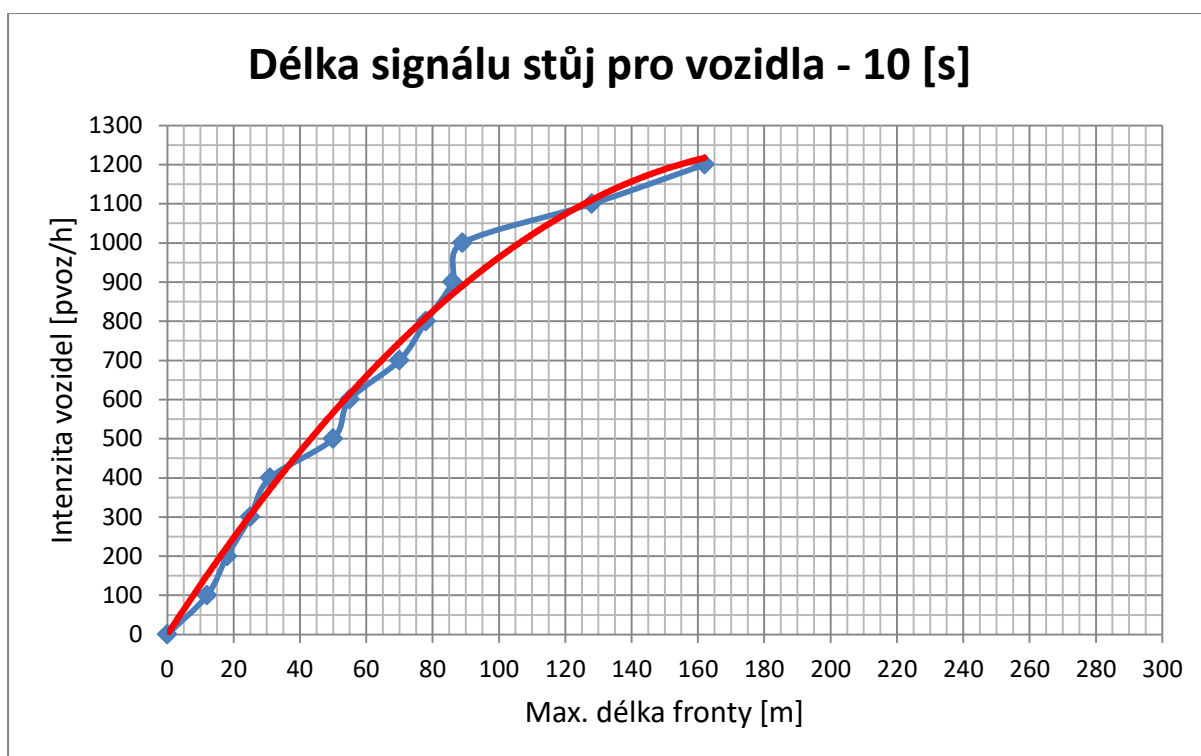
Délka signálu stůj pro vozidla - 20 [s]	
Intenzita vozidel [pvoz/h]	Max. délka fronty [m]
0	0
100	19
200	32
300	41
400	61
500	71
600	78
700	84
800	100
900	135
1000	159
1100	222
1200	více než 300

**Tab. 13 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 25 s**

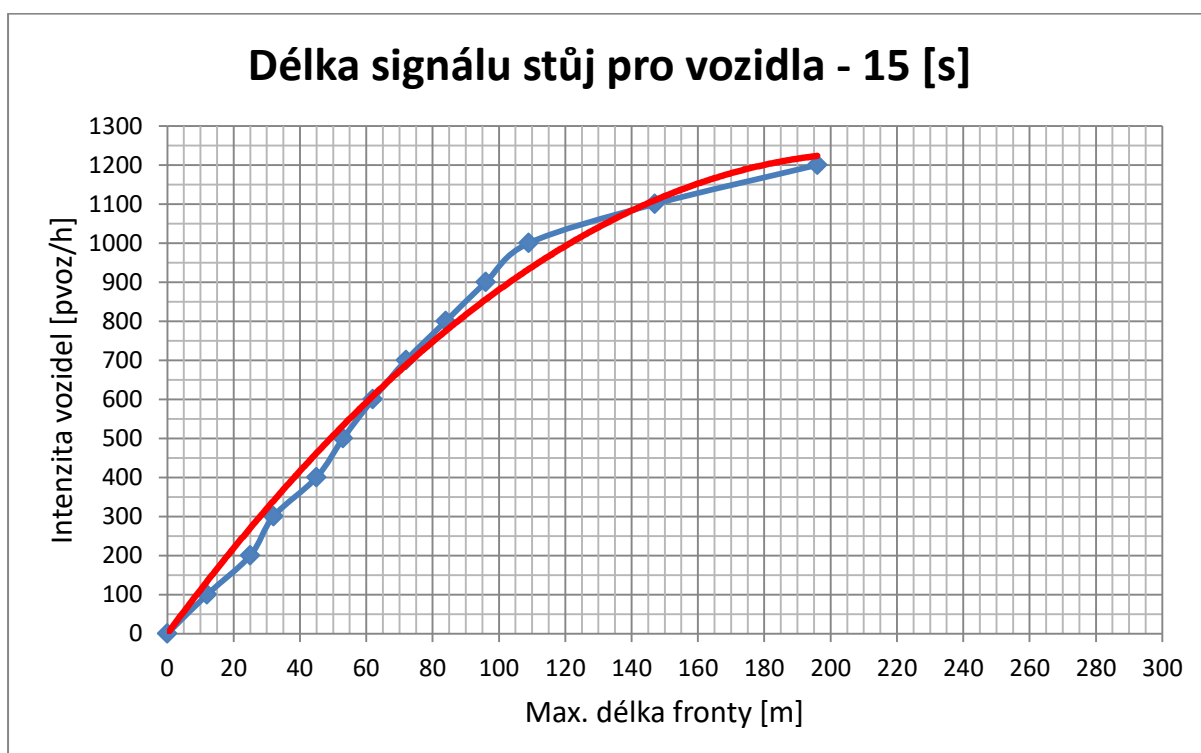
Délka signálu stůj pro vozidla - 25 [s]	
Intenzita vozidel [pvoz/h]	Max. délka fronty [m]
0	0
100	24
200	34
300	43
400	65
500	93
600	110
700	130
800	148
900	170
1000	294
1100	více než 300
1200	více než 300

Z uvedených tabulek byly vytvořeny grafy (Graf. 1 – 4), ve kterých je vizuálně znázorněna závislost maximální délky fronty na intenzitě vozidel pro jednotlivé délky signálů stůj. Grafy byly poté proloženy polynomickou spojnicí trendu (znázorněna červeně) se 2 pořadími, která vytvořila průmět mezi jednotlivými body:

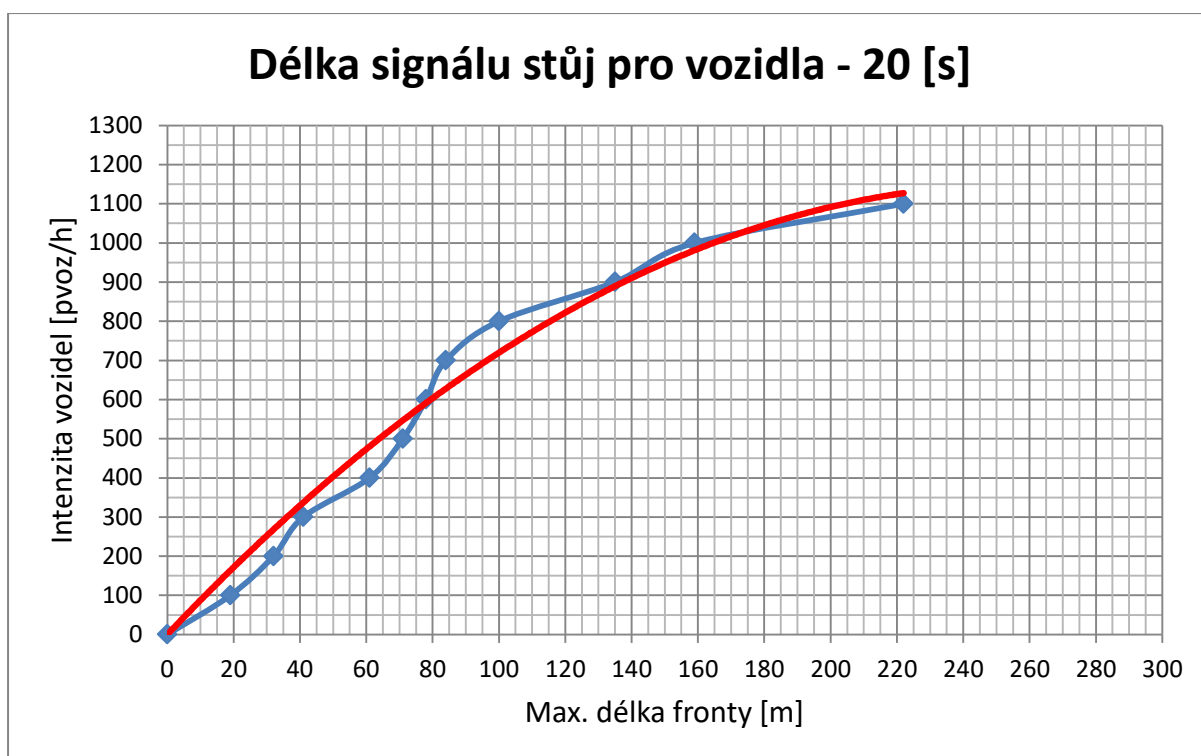
**Graf. 1 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 10 s**



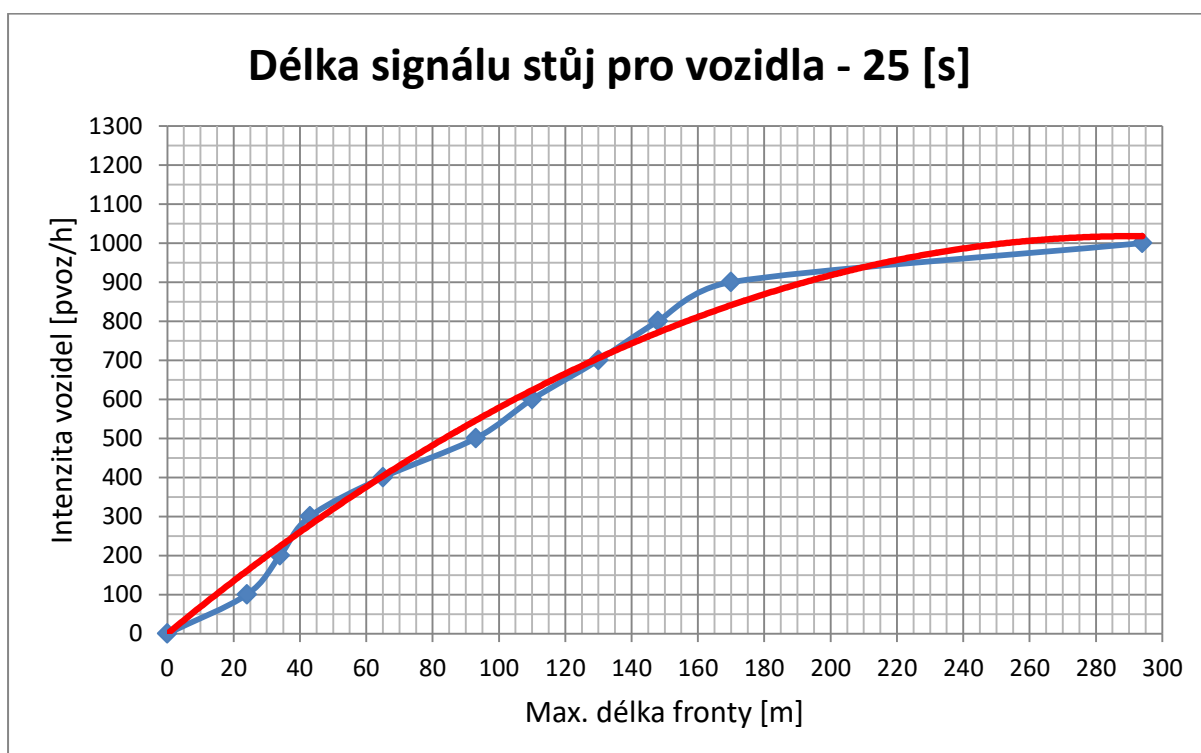
**Graf. 2 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 15 s**



**Graf. 3 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 20 s**

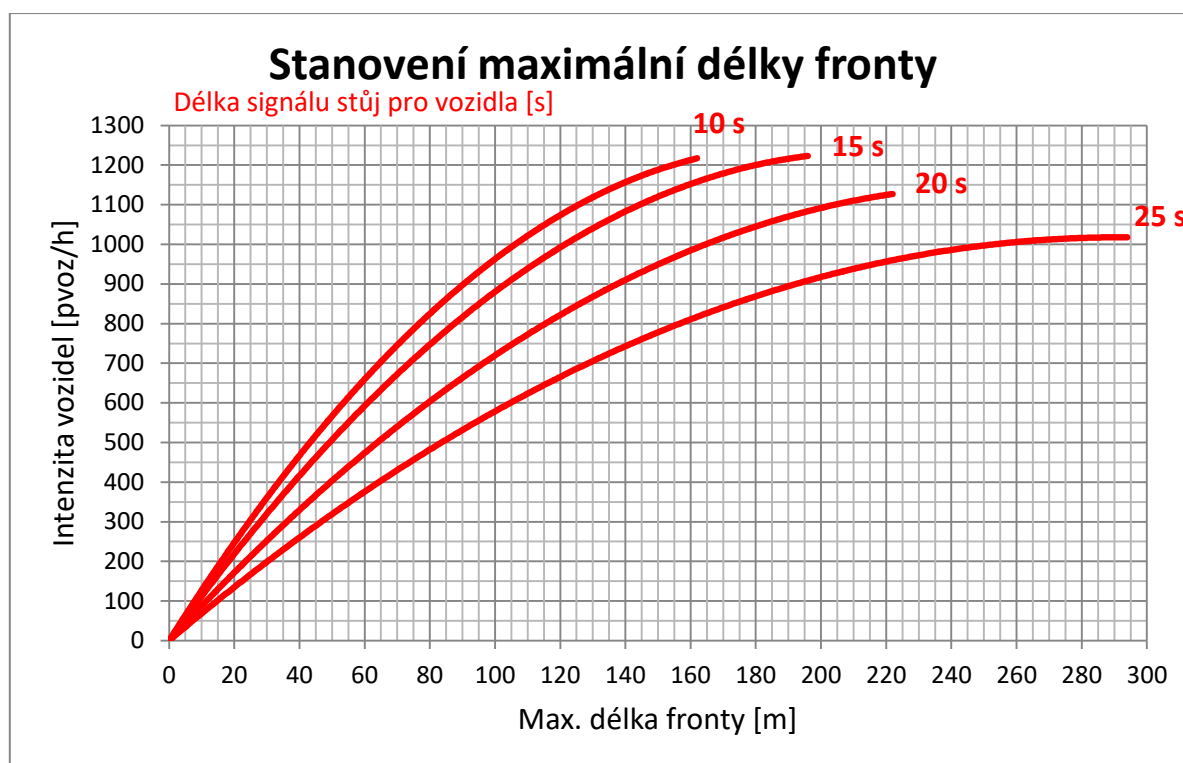


**Graf. 4 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 25 s**



Polynommické spojnice trendu byly pro vizuálně jednodušší orientaci sjednoceny do následujícího grafu s názvem Stanovení maximální délky fronty (Graf. 5):

Graf. 5 Stanovení maximální délky fronty



Graf. 5 je výchozím grafem této studie. Stanovuje maximální délku fronty závislé na intenzitě vozidel a délkou signálu stůj (červeného signálu). Mezi jednotlivými křivkami trendů je možná interpolace hodnot pro mezilehlé délky signálu stůj.

Pro možnost praktické kontroly správnosti tohoto výchozího grafu slouží poznámka uvedená v kapitole 4. Výsledky dopravního průzkumu, podkapitola 4.2: řidiči využívající tuto trasu (OK 17. listopadu x Bedřicha Nikodema – předmětný přechod pro chodce) pravidelně zaznamenávají případy, kdy se vytvoří fronta dlouhá tak, že zasahuje až na okružní pás OK a ovlivňuje tím provoz v OK. Vzhledem k tomu, že maximální možná délka fronty, při které nedochází k ovlivnění provozu na OK je 80 m, dochází tedy k případům, kdy je samotná délka fronty větší, než zmíněných 80 m. Z grafu 5: Stanovení délky fronty pro intenzitu vozidel 700 pvoz/h (intenzita na předmětném úseku) a délku signálu stůj pro vozidla 17 s (předmětná doba signálu stůj) vyplývá, že maximální délka fronty je pro tyto výchozí hodnoty 85 m. Maximální délka fronty tedy souhlasí s informacemi získanými při dopravním průzkumu, čímž byla srovnána s informací vyplývající z reálných zkušeností v provozu, kterým odpovídá.

## 10. Závěr

Výsledky této práce jsou metodika pro výpočet průměrné délky fronty vozidel a graf pro stanovení maximální délky fronty vozidel. Výsledky výpočtů dle metodiky pro výpočet průměrné délky fronty vozidel odpovídají reálně naměřeným hodnotám průměrných délek front vozidel před předmětnými přechody pro chodce. Jedná se o modifikovanou metodiku, která byla vytvořena v rámci této práce tak, aby zahrnovala délku signálu stůj pro vozidla, délku vyklizení fronty vozidel a také zohledňovala teoretickou hustotu dopravy v délce vzniklé fronty. Výsledné hodnoty grafu pro stanovení maximální délky fronty také odpovídají reálným informacím o ovlivňování provozu na okružním pásu v případě křižovatky 17. listopadu a Bedřicha Nikodema. Oba výsledky této práce jsou tedy srovnatelné s reálným provozem na místních komunikacích v řešených lokalitách.

Srovnání s reálným provozem proběhlo jen vůči dvěma řešeným lokalitám. Pro přesnější hodnocení výstupů této práce je potřeba, aby došlo ke srovnání s více než jen dvěma reálnými místy, ve kterých dochází k tvorbě fronty vozidel. Ke srovnání není potřeba striktně vzájemného vztahu poptávkový přechod – okružní křižovatka, nýbrž stačí samotné světelné řízení jízdního pruhu. Výstupy jsou totiž založeny především na délce trvání doby signálu stůj pro vozidla a intenzitách vozidel v jízdním pruhu. Pohyb vozidel je závislý také na mentalitě řidičů, která může být v různých oblastech odlišná. Je tedy potřeba ověřit výsledky této práce i v jiných oblastech, aby se zohlednila mentalita širší společnosti.

Při využití postupů, či výsledků uváděných v této práci je doporučeno provést simulaci daného prostředí, ve které bude zkontrolována srovnatelnost výsledných hodnot s odpovídající simulací. Důraz při tvoření simulací musí být kladen na početnou rozmanitost jízdních pruhů, v jednotlivých simulacích, ve kterých je měřena délka fronty. Počet opakování simulací je možno zredukovat na dvě, přičemž ale musí být dodrženo pravidlo, že výstupy simulace musí být při jejím opakování rovny výsledkům předešlým v téže simulaci! Při vyhodnocování výstupů simulace maximální délky fronty musí být kladen důraz na zvyšující se maximální délku fronty při zvyšování zatížení (intenzit vozidel) komunikací! Každý hodnotný výstup maximální délky fronty vytvořené simulací musí být srovnán s výstupem maximální délky front v simulaci totožné, pozměněné pouze o navýšení zatížení (intenzit vozidel) komunikace o přiměřenou hodnotu 50 – 100 voz/h, resp. 50 – 100 pvoz/h!



## 11. Seznam použité literatury

- [1] Počet obyvatel ve správním obvodu statutárního města Ostravy. *Statutární město Ostrava – Oficiální portál města Ostravy* [online]. 17.04.2013, 09.10.2017 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://www.ostrava.cz/cs/urad/hledam-informace/aktualni-informace/pocet-obyvatel-ve-spravnim-obvodu-statutarniho-mesta-ostravy>
- [2] *Mapy.cz* [online]. Copyright © 1996-2017 [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.2184947&y=49.8299043&z=13&l=0>
- [3] Bartoš, L., 2011 Posuzování kapacity okružních křižovatek: TP 234. Liberec: EDIP, ISBN: 978-80-87394-02-01
- [4] Statistické vyhodnocení nehod na trase. *Jednotná dopravní vektorová mapa* [online]. © 2006 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://maps.jdvm.cz/cdv2/apps/nehodynalokalite/Search.aspx>
- [5] Bartoš, L., 2012. Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: TP 189. 2. vyd. Plzeň: EDIP, ISBN: 978-80-87394-06-9.
- [6] Bartoš, L., 2012. Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek: TP 235. Liberec: EDIP, ISBN: 978-80-87394-03-8

## Seznam obrázků

Obr. 6 Mapa širších vztahů [2] .....	4
Obr. 7 Poloha dopravních nehod v místě křižovatky 17. listopadu x Slavíkova [4] .....	6
Obr. 8 Poloha dopravních nehod v místě křižovatky 17. listopadu x Bedřicha Nikodema [4] .....	8
Obr. 9 Stanoviště křižovatky 17. listopadu x Slavíkova .....	11
Obr. 10 Schéma uspořádání dopravní situace .....	12,16
Obr. 11 Stanoviště křižovatky 17. listopadu x Bedřicha Nikodema .....	15
Obr. 7 Hustota dopravního proudu .....	24
Obr. 8 Průměrná délka fronty .....	24
Obr. 9 Vývojový diagram .....	31
Obr. 10 Poznámkový blok, soubor.pua .....	32
Obr. 11 Poslední chybové hlášení .....	36
Obr. 12 Pevný signální plán 17. listopadu x Slavíkova (PTV Vissim 8) .....	39
Obr. 13 Pevný signální plán 17. listopadu x Bedřicha Nikodema (PTV Vissim 8) .....	41
Obr. 14 Ukázka modelu s označeným pedestrian route .....	43
Obr. 15 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 10 s (PTV Vissim 8) .....	49
Obr. 16 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 15 s (PTV Vissim 8) .....	52
Obr. 17 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 20 s (PTV Vissim 8) .....	55
Obr. 18 Pevný signální plán pro dobu signálu stůj 25 s (PTV Vissim 8) .....	58

## Seznam tabulek

Tab. 1 Příčiny nehod 17. Listopadu x Slavíkova .....	7
Tab. 2 Příčiny nehod 17. Listopadu x Bedřicha Nikodema .....	8
Tab. 3 Špičková hodinová intenzita [voz/h] .....	12
Tab. 4 Špičková hodinová intenzita [pvoz/h] .....	13
Tab. 5 Ukázky dob vyklizení vozidel .....	14
Tab. 6 Špičková hodinová intenzita [voz/h] .....	16
Tab. 7 Špičková hodinová intenzita [pvoz/h] .....	17

Tab. 8 Ukázky dob vyklizení vozidel .....	18
Tab. 9 Délka efektivní zelené [6].....	21,27
Tab. 10 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 10 s .....	60
Tab. 11 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 15 s .....	60
Tab. 12 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 20 s .....	61
Tab. 13 Maximální délky fronty vozidel pro délku signálu stůj 25 s .....	61

## **Seznam grafů**

Graf. 1 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 10 s .....	62
Graf. 2 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 15 s .....	62
Graf. 3 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 20 s .....	63
Graf. 4 Stanovení max. délky fronty při délce signálu stůj 25 s .....	63
Graf. 5 Stanovení maximální délky fronty .....	64

## **12. Seznam příloh**

Příloha č. 1 .....	Posouzení kapacity výjezdu okružních křižovatek
--------------------	-------------------------------------------------

## PŘÍLOHA č. 1

### Posouzení kapacity výjezdu okružních křižovatek – zohlednění chodců/nezohlednění

#### Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova (nezohlednění)

##### Základní kapacita výjezdu z okružní křižovatky

$$C_e = \frac{3600 \cdot n_{e,kcoef}}{t_f}$$

Kde  $C_e$  je kapacita výjezdu [voz/h]

$n_{e,kcoef}$  je koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-]

$n_{e,kcoef} = 1,00$  ..... pro jednopruhé výjezdy

$n_{e,kcoef} = 1,50$  ..... pro dvoupruhové výjezdy

$t_f$  je následný časový odstup vozidel na výjezdu z OK [s]

$$R_e = 20 \text{ m} \Rightarrow t_f = 3,6 - 0,04 \times R_e = 3,6 - 0,04 \times 20 = 2,8$$

Po dosazení:

$$C_e = \frac{3600 \times 1}{2,8} = 1286 \text{ voz/h}$$

##### Posouzení kapacity

$$a_v = \frac{I_e}{C_e}$$

Kde  $a_v$  je stupeň vytížení [-]

$I_e$  je intenzita vozidel na výjezdu [voz/h]

$C_e$  je kapacita výjezdu [voz/h]

Po dosazení:

$$a_v = \frac{801}{1286} = 0,62 < 0,9 \Rightarrow \text{výjezd kapacitně vyhovuje}$$

## Křižovatka 17. listopadu x Slavíkova (zohlednění)

### Vliv přecházejících chodců

$$C_e = \frac{3600 \cdot n_{e,koe f}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_{ch}}{3600}(t_g - \frac{t_f}{2})}$$

Kde	$C_e$	je kapacita výjezdu [voz/h]
	$n_{e,koe f}$	je koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-]
		$n_{e,koe f} = 1,00$ ..... pro jednopruhov é výjezdy
		$n_{e,koe f} = 1,50$ ..... pro dvoupruhové výjezdy
	$I_{ch}$	je intenzita přecházejících chodců [ch/h]
	$t_f$	je následný časový odstup vozidel na výjezdu z OK [s]
	$t_g$	je kritický časový odstup [s], který se určí dle vzorce:

$$t_g = \frac{d_p}{v_p} + \frac{d_v}{v_v} + t_{bezp}$$

Kde	$d_p$	je délka přechodu [m]
	$v_p$	je rychlost chodce [m/s]
		konstantní hodnota: $v_p = 1,6 \text{ m/s}$
	$d_v$	je délka vozidla [m]
		konstantní hodnota: $d_v = 6,0 \text{ m}$
	$v_v$	rychlost vozidla [m/s]
		$v_v = 5,56 \text{ m/s}$ (tj. 20 km/h) ..... $R_e \leq 15 \text{ m}$
		$v_v = 8,33 \text{ m/s}$ (tj. 30 km/h) ..... $R_e > 15 \text{ m}$
	$t_{bezp}$	je bezpečnostní odstup vozidla a chodce
		konstantní hodnota: $t_{bezp} = 1,7 \text{ s}$

Vstupující hodnoty:

$t_f = 2,8 \text{ [s]}$ , viz výše

$d_p = 12 \text{ m}$ ,  $v_p = 1,6 \text{ m/s}$ ,  $d_v = 6,0 \text{ m}$ ,  $v_v = 8,33 \text{ m/s}$ ,  $t_{bezp} = 1,7 \text{ s}$

Po dosazení:

$$t_g = \frac{12}{1,6} + \frac{6,0}{8,33} + 1,7 = 9,92 \text{ [s]}$$

$$C_e = \frac{3600 \times 1}{2,8} \cdot e^{-\frac{236}{3600}(9,92 - \frac{2,8}{2})} = 735 \text{ [voz/h]}$$

### Posouzení kapacity

$$a_v = \frac{I_e}{C_e}$$

Kde  $a_v$  je stupeň vytížení [-]

$I_e$  je intenzita vozidel na výjezdu [voz/h]

$C_e$  je kapacita výjezdu [voz/h]

Po dosazení:

$$a_v = \frac{801}{735} = 1,09 > 0,9 \Rightarrow \text{výjezd kapacitně nevyhovuje}$$

## Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema (nezohlednění)

### Základní kapacita výjezdu z okružní křižovatky

$$C_e = \frac{3600 \cdot n_{e,kcoef}}{t_f}$$

Kde  $C_e$  je kapacita výjezdu [voz/h]

$n_{e,kcoef}$  je koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-]

$n_{e,kcoef} = 1,00$  ..... pro jednopruhé výjezdy

$n_{e,kcoef} = 1,50$  ..... pro dvoupruhové výjezdy

$t_f$  je následný časový odstup vozidel na výjezdu z OK [s]

$$R_e = 25 \text{ m} \Rightarrow t_f = 3,6 - 0,04 \times R_e = 3,6 - 0,04 \times 25 = 2,6$$

Po dosazení:

$$C_e = \frac{3600 \times 1}{2,6} = 1384 \text{ voz/h}$$

## Posouzení kapacity

$$a_v = \frac{I_e}{C_e}$$

Kde	$a_v$	je stupeň vytižení [-]
	$I_e$	je intenzita vozidel na výjezdu [voz/h]
	$C_e$	je kapacita výjezdu [voz/h]

Po dosazení:

$$a_v = \frac{611}{1384} = 0,44 < 0,9 \Rightarrow \text{výjezd kapacitně vyhovuje}$$

## Křižovatka 17. listopadu x Bedřicha Nikodema (zohlednění)

### Vliv přecházejících chodců

$$C_e = \frac{3600 \cdot n_{e,kcoef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_{ch}}{3600}(t_g - \frac{t_f}{2})}$$

Kde	$C_e$	je kapacita výjezdu [voz/h]
	$n_{e,kcoef}$	je koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-] $n_{e,kcoef} = 1,00$ ..... pro jednopruhé výjezdy $n_{e,kcoef} = 1,50$ ..... pro dvoupruhové výjezdy
	$I_{ch}$	je intenzita přecházejících chodců [ch/h]
	$t_f$	je následný časový odstup vozidel na výjezdu z OK [s]
	$t_g$	je kritický časový odstup [s], který se určí dle vzorce:

$$t_g = \frac{d_p}{v_p} + \frac{d_v}{v_v} + t_{bezp}$$

Kde  $d_p$  je délka přechodu [m]

$v_p$  je rychlost chodce [m/s]

konstantní hodnota:  $v_p = 1,6 \text{ m/s}$

$d_v$  je délka vozidla [m]

konstantní hodnota:  $d_v = 6,0 \text{ m}$

$v_v$  rychlost vozidla [m/s]

$v_v = 5,56 \text{ m/s}$  (tj. 20 km/h) .....  $R_e \leq 15 \text{ m}$

$v_v = 8,33 \text{ m/s}$  (tj. 30 km/h) .....  $R_e > 15 \text{ m}$

$t_{bezp}$  je bezpečnostní odstup vozidla a chodce

konstantní hodnota:  $t_{bezp} = 1,7 \text{ s}$

Vstupující hodnoty:

$t_f = 2,6 \text{ [s]}$ , viz výše

$d_p = 10 \text{ m}$ ,  $v_p = 1,6 \text{ m/s}$ ,  $d_v = 6,0 \text{ m}$ ,  $v_v = 8,33 \text{ m/s}$ ,  $t_{bezp} = 1,7 \text{ s}$

Po dosazení:

$$t_g = \frac{10}{1,6} + \frac{6,0}{8,33} + 1,7 = 8,67 \text{ [s]}$$

$$C_e = \frac{3600 \times 1}{2,6} \cdot e^{-\frac{608}{3600}(8,67 - \frac{2,6}{2})} = 398 \text{ [voz/h]}$$

**Posouzení kapacity**

$$a_v = \frac{I_e}{C_e}$$

Kde  $a_v$  je stupeň vytížení [-]

$I_e$  je intenzita vozidel na výjezdu [voz/h]

$C_e$  je kapacita výjezdu [voz/h]

Po dosazení:

$$a_v = \frac{611}{398} = 1,54 > 0,9 \Rightarrow \text{výjezd kapacitně nevyhovuje}$$